

UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL



TESIS

**“GENERACIÓN DE ALGORITMO PARA DETERMINACIÓN
DE LA CURVA NÚMERO EN LA MICROCUENCA CAPLINA -
TACNA, HACIENDO USO DE SISTEMA DE INFORMACIÓN
GEOGRÁFICA”**

Para optar:

TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO AMBIENTAL

Presentado Por:

BACH. ESTHEFANI ALEXANDRA BRACAMONTE CARPIO

TACNA – PERU

2021

UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL

Tesis

**“GENERACIÓN DE ALGORITMO PARA DETERMINACIÓN DE LA CURVA
NÚMERO EN LA MICROCUENCA CAPLINA - TACNA, HACIENDO USO DE
SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICO”**

Tesis sustentada y aprobada el 15 de enero de 2021; estando el jurado calificador integrado por:

PRESIDENTE:

Dr. Oscar Segundo Angulo Salas

SECRETARIO:

Dr. Williams Sergio Almanza Quispe

VOCAL:

Dr. Richard Sabino Lazo Ramos

ASESOR:

Ing. Carmen Román Arce

DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD

Yo Esthefani Alexandra Bracamonte Carpio, en calidad de Bachiller de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Privada de Tacna, identificada con DNI 72463947.

Declaro bajo juramento que:

1. Soy autora de la tesis titulada:

“GENERACIÓN DE ALGORITMO PARA DETERMINACIÓN DE LA CURVA NÚMERO EN LA MICROCUENCA CAPLINA - TACNA, HACIENDO USO DE SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICO”, la misma que presento para optar:

Grado de Ingeniero Ambiental

2. La tesis no ha sido plagiada ni total ni parcialmente, para la cual se han respetado las normas internacionales de citas y referencias para las fuentes consultadas.

3. La tesis presentada no atenta contra derechos de terceros.

4. La tesis no ha sido publicada ni presentada anteriormente para obtener algún grado académico previo o título profesional.

5. Los datos presentados en los resultados son reales, no han sido falsificados, ni duplicados, ni copiados.

Por lo expuesto, mediante la presente asumo frente a LA UNIVERSIDAD cualquier responsabilidad que pudiera derivarse por la autoría, originalidad y veracidad del contenido de la tesis, así como por los derechos sobre la obra y/o invención presentada. En consecuencia, me hago responsable frente a LA UNIVERSIDAD y a terceros, de cualquier daño que pudiera ocasionar, por el incumplimiento de lo declarado o que pudiera encontrar como causa del trabajo presentado, asumiendo todas las cargas pecuniarias que pudieran derivarse de ello en favor de terceros con motivo de acciones, reclamaciones o conflictos derivados del incumplimiento de lo declarado o las que encontrasen causa en el contenido de la tesis, libro y/o invento.

De identificarse fraude, piratería, plagio, falsificación o que el trabajo de investigación haya sido publicado anteriormente; asumo las consecuencias y sanciones que de mi acción se deriven, sometiéndome a la normatividad vigente de la Universidad Privada de Tacna.

Tacna, 15 de Enero del 2021

Firma

Bach. Esthefani Alexandra Bracamonte Carpio

DNI:72463947

DEDICATORIA

Mis padres que me dieron la oportunidad de estudiar una carrera que me gusta, a mi familia que siempre confió en mí y a mis amigos que me apoyaron y me acompañaron a lo largo de mis estudios.

AGRADECIMIENTO

A mi asesora Ing. Carmen Román Arce por la orientación y apoyo para poder terminar el actual trabajo de investigación.

A mis padres Macarena y Eduardo por la paciencia

A mis tíos Javier y Freddy por el apoyo incondicional.

INDICE DE CONTENIDO

PAGINA DE JURADO.....	I
DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD	II
DEDICATORIA.....	1
AGRADECIMIENTO.....	2
INDICE DE CONTENIDO	3
INDICE DE TABLAS	6
INDICE DE FIGURAS	6
INDICE DE ECUACIONES	7
RESUMEN.....	8
ABSTRACT	9
INTRODUCCION	10
CAPITULO I PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	11
2.1. Descripción del problema.....	11
2.2. Formulación del problema.....	12
2.2.1. Formulación general del problema	12
2.2.2. Formulación específica del problema.....	13
2.3. Justificación e importancia de la investigación	13
2.4. Objetivos.....	13
2.4.1. Objetivo General	13
2.4.2. Objetivos específicos	13
2.4. Hipótesis	14
2.5.1. Hipótesis General.....	14
2.5.2. Hipótesis Específica.....	14
2.5. Identificación y caracterización de variables	14
CAPITULO II MARCO TEORICO	15

2.1.	Antecedentes de la investigación.....	15
2.2.	Bases teóricas.....	19
2.2.2.	Cuenca hidrográfica.....	21
2.2.3.	Morfometría de cuenca hidrográfica.....	22
2.2.4.	Número de Curva (CN).....	22
2.2.5.	Cobertura de Suelo o cobertura vegetal.....	23
2.2.5.1.	<i>Tipos de Cobertura vegetal</i>	23
2.2.6.	Imágenes satelitales.....	25
2.2.7.	Procesamiento de imágenes.....	26
2.3.	Definición de Término.....	28
2.3.1.	Número de curva.....	28
2.3.2.	Escorrentía.....	28
2.3.3.	Precipitaciones.....	29
2.3.4.	Inundación.....	29
2.3.5.	Percepción remota.....	29
2.3.6.	Cobertura del suelo.....	29
	CAPÍTULO III MARCO METODOLÓGICO.....	30
3.1.	Tipo y diseño de la investigación.....	30
3.2.	Acciones y actividades.....	30
3.2.1.	Fase preliminar.....	30
3.2.2.	Fase de procesamiento de información.....	30
3.3.	Materiales y/o instrumentos.....	31
3.4.	Población y/o muestra de estudio.....	31
3.4.1.	Ubicación de la zona de estudio.....	31
3.4.2.	Descarga de imágenes satelitales.....	33
3.4.3.	Preprocesamiento de la información.....	34
a.	Paso 1. Se procedió a ordenar las bandas.....	34

b. Paso 2: Cortar imágenes satelitales	35
c. Paso 3: Exportar imagen satelital.....	36
d. Paso 4: Descargar curvas de nivel	37
e. Paso 5: Imagen triangular (TIN).....	37
f. Paso 6: Creación del Modelo de Elevación Digital (DEM)	38
3.4.4. Parámetros morfométricos de cuenca.....	38
a. Longitud de flujo	41
b. Orden de red hídrica.....	41
c. Curva hipsométrica	42
d. Propiedades de superficie	42
e. Pendiente.....	42
f. Tiempo de concentración	43
3.4.5. Índice Diferencial de Vegetación Normalizado (NDVI)	43
3.4.6. Determinación de Número de Curva (CN)	47
CAPÍTULO IV RESULTADOS	53
4.1. Parámetros morfométricos de la cuenca.....	53
4.2. Análisis de Índice de Vegetación Normalizado (NDVI)	55
4.3. Determinación de Número de Curva (CN)	62
4.4. Relación de Zonas de riesgo ambiental y CN	66
CAPÍTULO V DISCUSIÓN.....	69
CONCLUSIONES.....	72
RECOMENDACIONES	74
BIBLIOGRAFIA	75
Almánzar , R., & Pascual, J. (2011). <i>“Análisis de sucesos productores de caudal en pequeñas cuencas mediterráneas como apoyo a la gestión integrada y sostenible del agua”</i> . España: Talavera de la Reina.....	75
ANEXOS.....	79

MATRIZ DE CONSISTENCIA.....	99
-----------------------------	----

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Las coordenadas UTM de la zona de estudio	31
Tabla 2 Imágenes de los satelitales Landsat 5 y 7	34
Tabla 3 Reclasificación de NDVI	45
Tabla 4 Reclasificación de la cobertura y uso.....	46
Tabla 5 Número de curva de escorrentía para usos selectos de tierras agrícolas, suburbana y urbana	47
Tabla 6 Grupo hidrológico según descripción del suelo.	49
Tabla 7 Número de curva para distintas condiciones hidrológicas.....	50
Tabla 8 Valores de los grupos hidrológicos	51
Tabla 9 Propiedades de superficie de la cuenca	53
Tabla 10 Propiedades relacionadas a la altitud de la cuenca.	54
Tabla 11 Propiedades relacionadas a la red hídrica.....	54
Tabla 12 Parámetros generados	55
Tabla 13 Análisis de Índice de Vegetación Normalizado (Periodo Seco)	55
Tabla 14 Análisis de Índice de Vegetación Normalizado (Periodo Húmedo).....	56
Tabla 15 Relación de NDVI y CN	66

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Esquema general del ciclo hidrológico.....	20
Figura 2 Tipos de Cobertura Vegetal	23
Figura 3 Mapa de ubicación de la zona de estudio.....	32
Figura 4 Mapa de Centros Poblados.....	32
Figura 5 Descarga de Imágenes Satelitales	34
Figura 6 Secuencia para ordenar bandas	35
Figura 7 Secuencia de corte de imágenes satelitales.....	36
Figura 8 Diagrama de exportar imagen satelital en Arcmap.....	37
Figura 9 Lamina de Imagen triangular "TIN"	38
Figura 10 Mapa de Fill (relleno).....	39
Figura 11 Mapa de Dirección de Flujo.....	40
Figura 12 Mapa de Flujo de acumulación	40

Figura 13 Mapa de Longitud de flujo	41
Figura 14 Mapa de red hídrica.....	42
Figura 15 Diagrama para crear el “NDVI.....	45
Figura 16 Diagrama del Geoprocesamiento	52
Figura 17 Análisis correlacional del NDVI en función de coberturas.....	56
Figura 18 Mapa de reclasificación de NDVI año 1995 (Periodo seco).....	57
Figura 19 Mapa de reclasificación de NDVI año 2019 (Periodo seco).....	58
Figura 20 Mapa de reclasificación de NDVI año 1995 (Periodo húmedo)	58
Figura 21 Mapa de reclasificación de NDVI año 2019 (Periodo húmedo)	59
Figura 22 Clasificación de vegetación abundante y vigorosa (Periodo húmedo_2019)	60
Figura 23 Clasificación de vegetación dispersa o poca vigorosa (Periodo húmedo_2019)	60
Figura 24 Clasificación Suelos desnudos o vegetación muerta (Periodo húmedo_2019)	61
Figura 25 Agua o cubiertas artificiales (Periodo húmedo_2019).....	61
Figura 26 Mapa de suelo de la zona de estudio	62
Figura 27 Tabla de atributos de suelos	62
Figura 28 Tabla de atributos de NDVI	63
Figura 29 Tabla de atributos de suelos y NDVI.....	63
Figura 30 Tabla de atributos de CNLookUp.....	63
Figura 31 Mapa de Fill	64
Figura 32 Mapa de Número de Curva	65
Figura 33 Mapa de peligro	67
Figura 34 Mapa de peligro asociado al Número de Curva	68

INDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1 Balance Hídrico.....	20
Ecuación 2 Tiempo de concentración	43
Ecuación 3 Conversión de ND a Radiancia	43
Ecuación 4 Ecuación para determinar el NDVI	44
Ecuación 5 Ecuacion para determinar NDVI en imágenes Landsat.....	44
Ecuación 6 Retención potencial máxima.....	47

RESUMEN

La presente investigación tiene como objetivo principal generar un algoritmo para determinar el Número de Curva en la Microcuenca Caplina, haciendo uso de un Sistema de Información Geográfica (SIG). La zona de estudio se tiene un área de 416.44 Km² y corresponde a la subcuenca Media 01 del río Caplina y la Quebrada Cotoñame. La metodología utilizada se basó principalmente en el procesamiento de imágenes satelitales Landsat sensor ETM+ y TM, con la finalidad de determinar la cobertura vegetal, tomando como referencia el algoritmo de Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada NDVI, se realizó un análisis multitemporal, esto nos servirá para el análisis del Número de Curva (CN).

Los resultados obtenidos en la investigación primero los parámetros geomorfológicos de la microcuenca nos indican que corresponde, el área de estudio es pequeña – intermedia, el perímetro este nos servirá para determinar el factor de forma de la cuenca, valores mayores a 1.20 corresponde a cuencas rodeando el desagüe, el coeficiente de compacidad, en zona de estudio tenemos un valor de 2.19, que corresponde a una cuenca rectangular.

Palabras claves: NDVI, número de curva, índice de vegetación, imágenes satelitales, cubierta vegetal, SIG

ABSTRACT

The main objective of this research is to generate an algorithm to determine the Curve Number in the Caplina Micro-basin, using a Geographic Information System (GIS). The study area has an area of 416.44 km² and corresponds to the Media 01 sub-basin of the Caplina River and the Quebrada Cotoñame. The methodology used was based mainly on the processing of satellite images Landsat sensor ETM + and TM, in order to determine the vegetation cover, taking as a reference the algorithm of the Normalized Difference Vegetation Index NDVI, a multitemporal analysis was carried out, this will help us for Curve Number (CN) analysis.

The results obtained in the investigation first, the geomorphological parameters of the micro-basin indicate that it corresponds, the study area is small - intermediate, the perimeter this will help us to determine the shape factor of the basin, values greater than 1.20 correspond to surrounding basins the drainage, the compactness coefficient, in the study area we have a value of 2.19, which corresponds to a rectangular basin.

Keywords: NDVI, curve number, vegetation index, satellite images, vegetation cover, GIS

INTRODUCCION

En una cuenca hidrográfica solo una porción de la precipitación general se convierte verdaderamente en escorrentía, una gran fracción de la precipitación se pierde por el contenido de infiltración de la superficie, por la evaporación a partir del área, también la transpiración de la vegetación, la conservación de la precipitación por los bosques, los charcos, etc; en acumulado, las sumas totales de las precipitaciones retenidas reciben el título de abstracciones. Las abstracciones en las cuencas hidrográficas, dado el valor de la saliente muestra es esencial establecer los usos de superficie y tipos de superficie de toda la cuenca hidrográfica, asignándolo un numero adimensional denominado Número de curva (CN) dependiendo del uso y tipo de superficie de las cuencas hidrográficas, siendo un parámetro muy sensible y determinante para la producción de la precipitación efectiva. (Yupanqui, 2016)

En los últimos años en nuestro país se han registrado precipitaciones de gran intensidad que han ocasionado desbordes e inundaciones, que son riesgos naturales con las peores consecuencias, estos vuelven vulnerable a la comunidad ya que traen muchos problemas sociales. La ciudad de Tacna no es ajena a esta situación en el año 2020, se registraron precipitaciones máximas las cuales provocaron el colapso del desagüe y desborde de los ríos, en Tacna no contamos con antecedentes de uso de la Curva de Número (CN).

La curva de número (CN) es una tecnología que con ayuda del (SIG) y desarrollo de la teledetección podemos procesar información satelital y generar la curva de número (CN), la cual nos brindara información y así prevenir fenómenos naturales.

A nivel mundial, la técnica de la curva de número (CN) es uno de los más utilizados en el campo de la hidrología, ya que representa las características de suelo, vegetación y humedad de la microcuenca, con el desarrollo de la teledetección y (SIG), nos permite procesar imágenes satelitales con facilidad y en un menor tiempo.

CAPITULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

2.1. Descripción del problema

A nivel mundial las inundaciones son consideradas los desastres naturales más importantes, causando muertes de hasta en 4 millones, estos casi siempre están relacionados con el cambio climático, aumento de temperatura y precipitaciones.

En los últimos años en nuestro país se han registrado precipitaciones de gran intensidad, lo cual ha ocasionado eventos máximos de desborde e inundación. La ciudad de Tacna no es ajena a esta situación en el año 2020, se registraron precipitaciones máximas las cuales provocaron el colapso del sistema de alcantarillado y desborde de ríos, generando como resultado daños en la propiedad pública y privada, así mismo un impacto ambiental, social y económico en la población.

La investigación se emplazada en la cuenca del río Caplina, debido a que esta ocupa un mayor porcentaje de la ciudad de Tacna, y es justamente el río en mención, este año se ubicó en un umbral hidrológico rojo, debido a las lluvias intensas, ocasionando daños cuantiosos en varios distritos de la ciudad, al generarse estos eventos se produce una mayor escorrentía que infiltración, favoreciendo al proceso erosivo, y por ende incrementa el proceso de inundación, es por ello la importancia de estudiar y caracterizar la Curva Número (CN), que es un parámetro hidrológico importante para determinar la escorrentía en una cuenca hidrográfica, debemos decir que la escorrentía es parte del ciclo hidrológico y es importante su estudio en el tema ambiental ya que permite predecir temas de sostenibilidad y degradación de los recursos naturales.

Para poder caracterizar la Curva Numero (CN) de una cuenca es un proceso nada sencillo debido a que se debe considerar varios aspectos como características físicas del terreno, densidad y tipo de cobertura, la importancia de este trabajo nace de esta premisa, simplificar esta metodología en grandes áreas para economizar recursos, para ello usaremos un (SIG), nos permitirá producir

láminas de Curva Número (CN) en toda la cuenca, emplazando varios capas (suelo, vegetación, condiciones hidrológicas, etc.).

Las consecuencias actuales de no contar con un mapa temático de Curva Número (CN), genera que no se puede determinar de forma exacta el escurrimiento superficial en la microcuenca del río Caplina, lo cual nos permite diseñar estructuras para poder prevenir los desastres naturales, también el aprovechamiento del recurso hídrico, determinar zonas de inundación y erosión.

Con esta investigación se pretende generar un algoritmo el cual simplifique el proceso para determinar la Curva Número, utilizando los diferentes programas de (SIG), que nos permite generar láminas del (suelo, cobertura vegetal, precipitaciones, etc.), para luego integrarlos y obtener el mapa de Curva Número en la cuenca.

También se pretende realizar mapas temáticos de suelo, cobertura vegetal, los cuales servirán como ayuda a otras especialidades en el estudio hidrológico e hidráulico de la cuenca.

La Curva Número está relacionada directamente con la escorrentía superficial es por ello la importancia de determinar como la pendiente influye en este tema, por ello realizaremos un tipo de elevación digital, luego analizar la relación de la pendiente entre la Curva Número.

Finalmente se pretende con el mapa temático de Curva Número, identificar posibles zonas de riesgo ambiental en toda la cuenca del río Caplina, siendo un gran aporte para otras investigaciones y para el tema de prevención de desastres en nuestra ciudad, así como en el ordenamiento territorial.

2.2. Formulación del problema

2.2.1. Formulación general del problema

- ¿Es posible determinar el Número de Curva en la Microcuenca Cuenca Caplina – Tacna, haciendo uso de un sistema de información geográfico?

2.2.2. Formulación específica del problema

- ¿Cómo obtener las propiedades físicas de la microcuenca Caplina?
- ¿Será posible relacionar la cobertura vegetal y uso de suelo con el CN?
- ¿Tendrá alguna relación las zonas de peligro con el CN?

2.3. Justificación e importancia de la investigación

Metodológicamente se pretende generar un algoritmo el cual simplifique el proceso para determinar el Número de Curva (CN), utilizando el (SIG), lo que nos permite generar laminas del (suelo, cobertura vegetal, precipitaciones, etc.), para luego integrarlos y obtener el mapa de Curva Número en la microcuenca.

Con esta investigación vamos a determinar con un mapa temático de Número de Curva (CN), la forma exacta en el escurrimiento superficial en la microcuenca del río Caplina, identificar posibles zonas de riesgo ambiental en toda la microcuenca del río Caplina, lo cual nos permite diseñar estructuras para poder prevenir desastres naturales y el aprovechamiento del recurso hídrico, determinar zonas de inundación y erosión.

También con los mapas temáticos de suelo, cobertura vegetal, los cuales servirán como ayuda a otras especialidades en el estudio hidrológico e hidráulico de la microcuenca.

2.4. Objetivos

2.4.1. Objetivo General

- Generar un algoritmo para determinar el Número de Curva en la Microcuenca Caplina Tacna, haciendo uso de Sistema de Información Geográfico.

2.4.2. Objetivos específicos

- Determinar los parámetros geomorfológicos de la microcuenca Caplina – Tacna
- Determinar la relación entre la cobertura vegetal y uso de suelo con el Número de Curva.
- Elaborar mapa temático de CN en la Cuenca Caplina - Tacna, e indicar posibles zonas de riesgo ambiental

2.4. Hipótesis

2.5.1. Hipótesis General

- H0: Es posible generar un algoritmo para determinar el CN en la Cuenca Caplina - Tacna

2.5.2. Hipótesis Específica

- H1: Se podrá determinar las propiedades físicas de la microcuenca Caplina.
- H2: Existen una relación entre la cobertura vegetal, uso de suelo y la Curva Número.
- H3: No existen una relación entre las zonas de peligro y el Número Curva

2.5. Identificación y caracterización de variables

Variables	Indicadores
Dependiente	
Número de Curva	Valor para tipo de suelo y clasificación hidrológica
Independiente	
- Cobertura Vegetal	-NDVI
- Suelos	-Tipo de suelos
- Parámetros físicos de la microcuenca	-Área, perímetro, red hídrica, etc.

CAPITULO II

MARCO TEORICO

2.1. Antecedentes de la investigación

Lavao y Corredor (2014), presentaron su informe de tesis titulado “Aplicación de la teoría del Número de Curva (CN) a una Cuenca de Montaña. Caso de estudio: Cuenca del río Murca, mediante la utilización de un Sistema de Información Geográfico”, tiene como objetivo principal proponer una aplicación de la teoría de la Curva Número en la cuenca del río Murca, para la obtención de la oferta hídrica en el río Murca la cual es una subcuenca del río Negro. Para el desarrollo del estudio se utilizará de manera integrada los Sistemas de Información Geográfica (SIG), los cuales permiten trabajar con datos como lo son el tipo de suelo, precipitación y cobertura vegetal que se den en una misma localización geográfica. Finalmente el trabajo concluye en que una de las variables más importantes como lo es la cobertura terrestre fue identificado mediante imágenes Landsat con la utilización de sistemas de información geográfica, esta metodología es mucho más rápida y económica. También indica que es importante mencionar que la utilización de sistemas de información geográfica para la identificación del valor del Numero de Curva es un proceso rápido, especialmente si se tiene en cuenta que cada vez y a medida que avanza la tecnología la información es más fácil de adquirir.

Argente (2014), en su informe de tesis titulado “Estudio de comportamiento hídrico de una cuenca hidrológica en Angola”, principal objetivo de este trabajo está centrado en la modelización hidrológica y comportamiento erosivo de una pequeña cuenca frente a las escorrentías generadas por la precipitación pluvial de una zona situada en el corazón del país de Angola. La metodología utilizada fueron diferentes herramientas de análisis espacial, análisis hidrológico, interpolación y georreferenciación de imágenes que nos permite desarrollar el software especializado en gestión y análisis de información geográfica, el concluye indicando que mediante la realización de este proyecto se ha podido establecer los parámetros hídricos y geomorfológicos de una pequeña cuenca hidrológica cercana al Centro de Estudios Agronómicos de Chianga, obteniéndose parámetros útiles para el estudio de los cultivos

experimentales allí situados. A su vez, se deja abierta la puerta a profundizar sobre este estudio para obtener otros parámetros hidrológicos como la ecuación universal de pérdidas del suelo (USLE) que no se han podido desarrollar por carecer de datos experimentales de campo.

Yupanqui (2016) elaboro el estudio “*Obtención del Número de Curva a partir del Registro de Imágenes Obtenidas Mediante Percepción Remota*” en la Universidad Nacional De San Cristóbal De Huamanga – Perú, este trabajo tiene como objetivo principal determinar el número de curva en cuencas hidrográficas a partir de registros obtenidos mediante percepción remota, con respecto a este objetivo desarrollo la metodología del procesamiento de imágenes satelitales Landsat 8, concluyendo en lo siguiente, se determinó el número de curva en una cuenca hidrográfica local a partir de registros obtenidos mediante percepción remota. El número de curva ponderado para la cuenca en estudio es de 77.6, también nos dice que el índice de vegetación en general varía desde -1 hasta 1, para la cuenca analizada y debido tipo de cobertura de usos de suelo existentes varía desde -0.214 hasta 0.4002, que corresponde a usos del suelo del tipo: agua o cubiertas artificiales -en un porcentaje ascendente a 4.32% de la superficie de la cuenca, suelo desnudo o vegetación muerta (25% de la superficie total de la cuenca), vegetación dispersa o poco vigorosa (68% de la superficie total de la cuenca) y vegetación Abundante y vigorosa (2% de la superficie total de la cuenca).

Sotelo (2019), en su tesis denominada “Análisis de vulnerabilidad de riesgo por cambio climático en la cuenca Caplina – Tacna”, tiene como objetivo principal fue realizar un análisis de vulnerabilidad de riesgo del cambio climático en la Cuenca Caplina – Tacna, la metodología se baso en la identificación de peligros se ejecutó mediante el análisis de los diferentes factores y sus respectivas ponderaciones que influyen en su susceptibilidad (Social, Económica y Ambiental); para ello, se estudiaron los factores Geomorfológicos, Fisiográficos, Geológicos, Uso Actual del Suelos, Precipitación, Pendiente, Radiación Solar, Humedad Relativa, Temperatura y Cobertura Vegetal; todos estos fueron desarrollados a través de Sistemas de Información Geográfica (SIG). El análisis de la vulnerabilidad se efectuó a base de indicadores, establecidos en función a la exposición, fragilidad y resiliencia. Finalmente

concluye indicando que las áreas Vulnerables de la Cuenca, están representadas por los distritos a los que afectan en este caso son; por Vulnerabilidad Social en donde Tacna, Pachia posee vulnerabilidad alta en cuanto a la Vulnerabilidad Económica, Pachia y la Vulnerabilidad Ambiental en Pachia.

Córdova et al. (2017) elaboro el estudio *“Determinación del parámetro hidrológico número de curva en la cuenca de la quebrada El Batán, usando sistemas de información geográfica y percepción remota”* El autor concluye con lo siguiente: La modelación hidráulica de los Sistemas de Drenaje Urbano necesita gran cantidad de investigación base, del estudio de escurrimiento e infiltración. Con el fin de colocar de datos reales y reducir el grado de error en los resultados del ejemplo hidráulico, se desarrolló una búsqueda para establecer valores de escurrimiento superficial mediante la técnica número de curva, y (SIG), (PR) y (ES). Esta metodología fue desarrollada en la cuenca de la quebrada El Batán de la ciudad Quito-Ecuador. La tabla de (CN) se desarrolló a la mezcla de parámetros como son el uso de suelo, (CV) y grupos hidrológicos (GHS); y la pendiente del terreno. Para la producción de la tabla de usos y cobertura vegetal se utilizó imágenes Landsat, Rapideye y Ortofotos. En función de estudios previos del área urbana se generó la tabla GHS, mientras que para. Estos mapas generados fueron sometidos a procesos de reclasificación, rasterización, y mediante álgebra de mapas se obtuvo el mapa CN.

Portuguez & Verano (2016) elaboro el estudio *“Generación de mapa de número de curva con sistema de información geográfica”* en la Universidad Nacional Agraria La Molina, Perú, este trabajo tiene como objetivo principal generación de mapas temáticos de Número de Curva para el ámbito del territorio peruano, este objetivo se desarrolló en la metodología con el instrumento de programación (SIG), el cual hace posible trabajar con láminas de cobertura vegetal, tipos de suelos y modelo de elevación digital (DEM), se desarrolló los procesamientos con reclasificación de mapas y diferentes tipos de geo procesamiento de la información, dándonos como resultado el raster de “Numero de curva” se obtuvo resultados los valores de número de curva para condiciones normales varían desde 25 hasta 100, para condiciones secas de 12 a 100 y para

condiciones húmedas de 43 a 100, son valores adimensionales. Estos parámetros muy importantes en estudios hidrológicos.

Díaz y Mercado (2017) elaboro el estudio *“Determinación del número de curva en la subcuenca de Betancí (Córdoba, Colombia) mediante teledetección y SIG”* Universidad de Córdoba – Colombia. El autor concluye con lo siguiente: La posición de la escorrentía se puede caracterizar mediante una (CN), el cual brinda información con la ayuda de las imágenes espaciales de la superficie y su cobertura vegetal. Utilizaremos diferentes programas de acceso libre que es el (SIG), que ayudo a generar datos y determinar una (CN). Los resultados obtenidos en la subcuenca de Betancí, el pasto ocupa el 85% y el 83%, en el (CN) se determinó entre 81 y 86. Los suelos cuentan con una infiltración alta lo cual apoya a los procesos erosivos.

Ferrer Julia et al. (1998) elaboro el estudio *“Aportación de la teledetección para la determinación del parámetro hidrológico del número de curva”* El autor concluye con lo siguiente: El (CN) es un método muy utilizado en España para calcular la infiltración de la superficie. La investigación cuenta con algunos problemas en la recolección de información ya que no está actualizada. Por eso hacen el uso de (SIG) para recaudar información y solucionar el problema. Para determinar la (CN) se eligieron seis cuencas para ver sus diferentes características.

Manso (2010) elaboro el estudio *“Adaptación de las tablas de curva de numero para las formaciones vegetales del Parque Nacional de la Caldera de Taburiente (Isla de la Palma, España)”* El autor concluye con lo siguiente: El modelo de la curva de numero funciona para valorar la escorrentía superficial que genera una definida lluvia. Se realizará una (CN) con los siguientes datos, el tipo de suelos, cobertura vegetal y grupo hidrológico, con esta curva se determina la escorrentía con sus diferentes ecuaciones del modelo. Estas tablas están basadas de acuerdo con los datos de los Estados Unidos, se ajustará esta (CN) a esta investigación para las formaciones vegetales del Parque Nacional de la Caldera de Taburiente (Isla de la Palma, España).

Fernández de Villarán (2006) elaboro el estudio *“Mejora de los parámetros de cálculo del modelo del número de curva y su validación mediante*

un modelo hidrológico distribuido” El autor concluye con lo siguiente: Esta investigación plantea una cadena de mejoras al método del número de curva para la evaluación de la metamorfosis de lluvia en escorrentía. Se incide en la mejora de la exactitud en la determinación del conjunto hidrológico de suelo y en la disminución de la ambigüedad en el establecimiento del historial de humedad del suelo. Para la determinación del conjunto hidrológico de suelo se ha acudido a las definiciones del organismo de referencia, habiéndose realizado una revisión y estudio profundos del modelo. Los métodos propuesto parte de la estimación de la conductividad hidráulica saturada de los horizontes del suelo que, combinada con la profundidad a la que se produce la mínima conductividad, da lugar a un índice continuo del conjunto hidrológico de suelo, que disminuye en gran medida la probabilidad de error que presenta la actual determinación discreta. La producción de valores continuos del grupo hidrológico de suelo lleva a plantear la obtención de los números de curva de forma continua en vez de discreta, mediante la transformación de las tablas actuales en familias de funciones dependientes del índice de grupo hidrológico de suelo.

2.2. Bases teóricas.

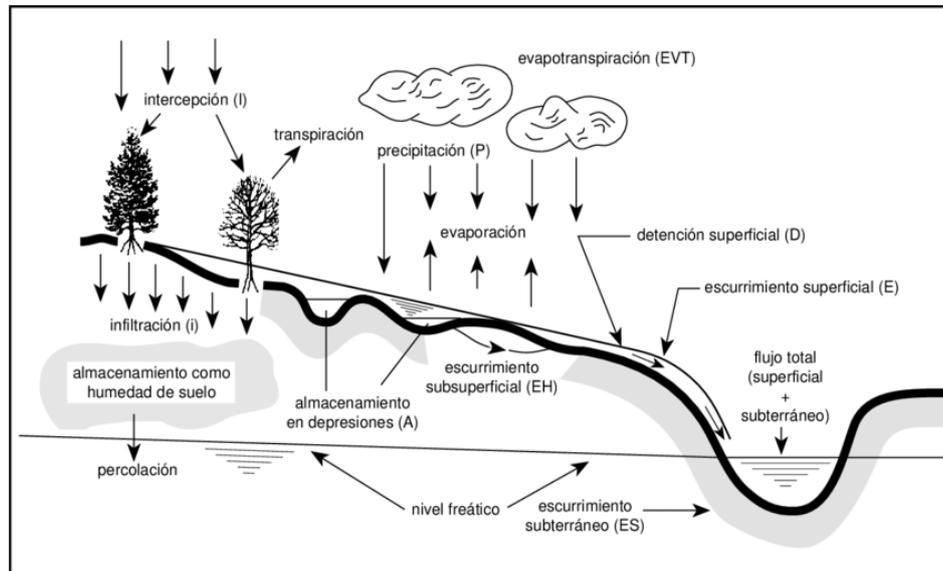
2.2.1. Ciclo hidrológico

Carchi (2015). El ciclo del agua empieza con la evaporación de mares y la corteza terrestre que con el calor que produce el sol se hacen las nubes, el agua que regresa a la Tierra tiene diferentes estados como de lluvia, nieve o granizo. El porcentaje mayor regresa sobre los mares. Las diferentes precipitaciones vuelven poco a poco a los mares.

Loera (2002), nos dice que existen tres tipos de cómo se desarrolla el ciclo del agua: la hidrosfera la cual contiene el agua en sus tres elementos, la litosfera que contiene todas las rocas y materia sólida de la superficie, la atmósfera que contiene todo el aire de la tierra.

Figura 1

Esquema general del ciclo hidrológico



Fuente: Chow, Maidment, & Mays (1994)

El ciclo del agua involucra una sucesión de traslado recirculatorio e indeterminado o estable, esta circulación estable del ciclo se debe fundamentalmente a dos causas: la primera, el sol que proporciona la energía para levantar el agua (evaporación); la segunda, la gravedad terrestre, que hace que el agua condensada descienda (precipitación y escurrimiento). (Campos Aranda, 1984)

Del ciclo del agua se debe a dos motivos: tenemos como primer motivo que el sol produce calor para levantar el agua este proceso se llama evaporación; el segundo es que por la gravedad el agua baje y este proceso se llama precipitación y escurrimiento.

Tenemos la ecuación 1 que es el balance hídrico que son los elementos del ciclo del agua (Gaspari et al., 2013)

Ecuación 1

Balance Hídrico

$$P = ET + Q + \Delta S + \Delta G$$

Donde:

P: Precipitación

ET: Evapotranspiración

Q: Caudal de escorrentía

ΔS : Cambio en el almacenamiento de agua en el suelo

ΔG : Cambio en almacenamiento de aguas subterránea (freática)

Como se observamos en la ecuación 1, el balance de agua hace una evaluación de lo que necesita el agua en la vegetación, alcanzando por las variables del ciclo. Hoy en día hay un mayor aumento en las técnicas para encontrar el balance hídrico. (Gaspari et al., 2013)

2.2.2. Cuenca hidrográfica

Villon Béjar (2002), indica que la cuenca hidrográfica es un sistema que está conformada por ríos o corrientes de agua en apreciación la zona es reducida ya que es donde las aguas de lluvia se juntan en un mismo sitio.

- **Subcuenca:** Se le denomina subcuenca a los ríos secundarios que desaguan en el río principal, todos los afluentes tienen correspondientemente su cuenca, y esta se llama subcuenca. (Carchi, 2015)
- **Microcuenca:** Carchi (2015), nos dice que la microcuenca es la concentración de pequeñas áreas de una subcuenca, de los ríos secundarios.

a. Parámetros generales de una Cuenca Hidrográfica

- **Área de la cuenca (A) (km²):**

Verdugo (2017) define área de una cuenca por la superficie en el espacio determinado por el impulso horizontal, determinado por el termino de las aguas

- **Perímetro de una cuenca (P) (km):**

El perímetro es la medida del borde que confina la zona de la cuenca, por el termino de las aguas. (Verdugo, 2017)

– **Longitud Axial (La) (km):**

Es el espacio presente entre la entrada del río y el lugar más distante de la cuenca. (Gaspari et al., 2013)

– **Ancho promedio (Ap) (km):**

Es la conexión presente entre el espacio de la cuenca y la longitud a conseguir en kilómetros de la cuenca. (Gaspari et al., 2013)

2.2.3. Morfometría de cuenca hidrográfica

Los criterios morfométricos necesitan de la figura, del realce, la desembocadura, modelo y manejo de la superficie, con los siguientes se calcula el comportamiento de cuerpos de agua y probables alteraciones a relación de la moderación hidrológica. (Vásquez Rangel et al., 2014)

Una cuenca tiene como trabajo la de compilador y las precipitaciones y cambiar a escurrimientos, dependiendo de acuerdo con las situaciones climáticas. A partir de este punto las cuencas se pueden clasificar por su forma, diferentes usos de suelo y cobertura vegetal. (Sarmiento, 1988)

Actualmente, hay diferentes instrumentos tales como los (SIG) y poder determinar, calcular y visualizar las imágenes de los satelitales y permitir efectuar la determinación del espacio estacional de las siguientes propiedades morfométricas de las redes de drenaje y la cuenca. (Gaspari et al., 2013)

2.2.4. Número de Curva (CN)

El número de curva (CN) fue creado por el Servicio de Conservación de Recursos Naturales de EE.UU. (Natural Resources Conservation Service – NRCS), que primero se llamaban Servicio de Conservación de Suelos (Soil Conservation Service - SCS) para calcular las precipitaciones de la lluvia acumulada, los niveles de humedad, características de la cobertura vegetal y el empleo del suelo. (Lavao, 2014)

El número de curva es una técnica hidrológica que nos ayuda a encontrar el contenido de escorrentía de una cuenca y establece diferentes cualidades físicas de la zona como diferentes usos de las coberturas y densidad. Díaz y Mercado (2017)

El método de la (CN) determina con las siguientes variables: Lavao (2014)

- Se reemplaza las precipitaciones de una fase de tiempo previamente seleccionado.
- Se considera un vínculo con el área del suelo hídrico y la cobertura vegetal.
- Se cuenta con antecedentes del estado de humedad, se fija una variable de la (CN) que simboliza la interrelación.

Los valores de CN varían en una categoría de 0 a 100 en que el monto más bajo corresponde a zonas con buen contenido de infiltración por ende la escorrentía baja, al contrario, a los montos altos de CN que nos muestran zonas impermeables o suelos con baja contenido de infiltración por ende buen potencial de escurrimiento. (Córdova et al. 2017)

2.2.5. Cobertura de Suelo o cobertura vegetal

El entendimiento de la cobertura de la tierra es un movimiento básico un proceso sostenible de los recursos naturales, la preocupación de la biodiversidad, disminución de los impactos en el área y en el cambio climático. Gamarra (2017)

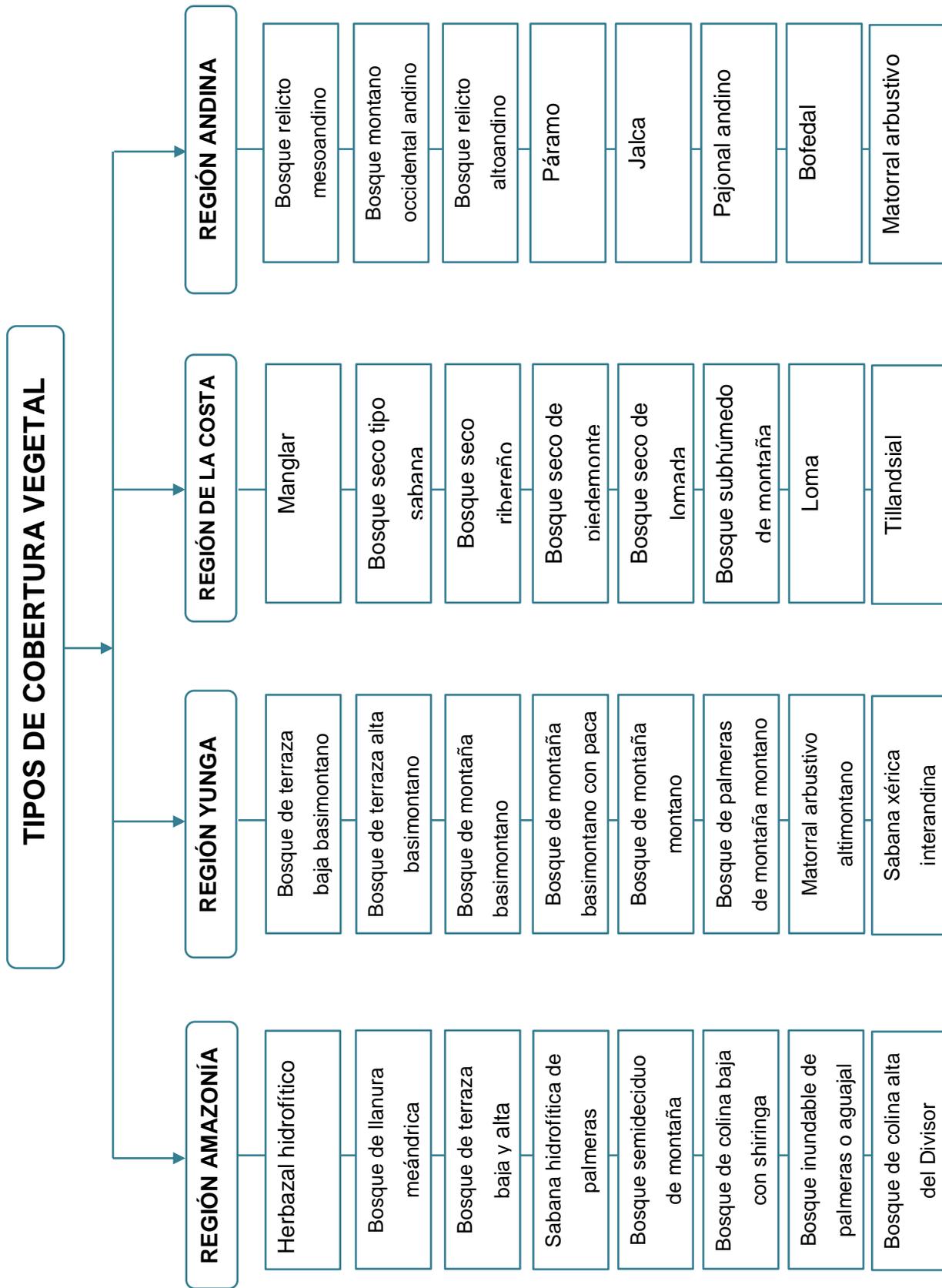
La cobertura del suelo se relaciona a un modelo de cobertura que está situada en el ámbito terrestre, mientras tanto utilizar un conjunto de actividades que desarrolla los seres humanos en conexión con el modelo de cobertura, y está agrupado con los fines económicos y sociales. (Seingier et al., 2009)

2.2.5.1. Tipos de Cobertura vegetal

MINAM. (2015), Según el Ministerio del ambiente estos se pueden clasificar en:

Figura 2

Tipos de Cobertura Vegetal



2.2.6. Imágenes satelitales

Las imágenes de los satélites son elaboradas gracias a sensores conectados en un satélite artificial por la radiación electromagnética que son producidas y luego traspasadas a 30 puntos terrestres para determinar, calcular y visualizar su contenido. Se encuentra varios tipos de imágenes de los satelitales, actualmente estas herramientas son utilizadas para mejorar la calidad de la imagen y así poder utilizarlas para diferentes beneficios; espionaje militar, el monitoreo del cambio climático, monitoreo de incendios e inundaciones, rastreo de huracanes. (Gonzaga, 2014)

Una cualidad que poseen las imágenes de los satélites es que poseen información a dentro de los rangos específicos.

Esta averiguación es registrada en diferentes canales o bandas espectrales. Para poder analizar las imágenes satelitales tenemos que hacer un ajuste a sus bandas y poder cambiar de colores para así observar los diferentes cambios en las imágenes. (Pérez, 2012)

2.2.6.1. Tipos de Imágenes Satelitales

a. Imágenes Pancromáticas

Estas imágenes son captadas con un sensor digital que nos ayuda a calcular la radiancia y reflectancia en una amplia porción del espectro electromagnético. Estos sensores son crecidamente modernos y se pueden observar en una escala de grises. Con las pancromáticas podemos ubicar, reconocer y calcular accidentes y objetos, pero solo por apariencia física, también elementos generados por la función del hombre. (Sánchez, 2012)

b. Imágenes Multiespectrales

Las imágenes multiespectrales se captan mediante un sensor digital que mide la reflectancia en muchas bandas. Es accesible incluso que dos series de detectores midan la energía en dos partes diferentes de la misma longitud de onda. Estos distintos valores de reflectancia se combinan para crear imágenes de color. Los satélites de teledetección multiespectrales de hoy en día miden la Reflectancia simultáneamente en un número de bandas distintas que pueden

ir de tres a catorce. Gracias a las imágenes multiespectrales se puede distinguir las rocas superficiales y el suelo por su composición y consolidación, delimitar terrenos pantanosos, es decir se alcanza un mayor detalle con las imágenes multiespectrales. (Sánchez, 2012)

c. Imágenes Hiperespectrales

Cervantes (2014), las imágenes Hiperespectrales se refieren a un detector espectral que mide la reflectancia en muchas bandas, con continuidad cientos o miles. La teoría en lo que se apoya la detección hiperespectral es que el tamaño de la reflectancia en numerosas franjas estrechas del espectro permite descubrir características y diferencias enormemente sutiles entre los rasgos de la superficie, fundamentalmente en lo que se refiere a vegetación, suelo y rocas.

2.2.7. Procesamiento de imágenes

Sánchez (2012), nos dice que el procesamiento de imágenes satelitales engloba una serie de técnicas de manipulación numérica de datos contenidos en imágenes digitales. Este análisis requiere para su realización de un software y hardware adecuados, para mejorar, corregir, analizar y extraer la información que necesitas.

a. Resolución Espectral

Usualmente la extensión de longitud de onda de distintas frecuencias grabadas, se vincula con el número de frecuencias que graba la plataforma, básicamente es el número y ancho de bandas espectrales consignadas por un sensor, ya que mientras más angostas sean estas bandas más será su resolución espectral. (Marquez y Rojas, 2017)

b. Resolución Espacial

Marquez y Rojas (2017). Es la fina visibilidad completa de una imagen, mientras menos sea el área representada por cada píxel de una imagen digital, crecerá los detalles que se pueden recoger y de ese modo su resolución espacial aumentará.

c. Resolución Radiométrica

Marquez y Rojas (2017), se refiere al número de niveles digitales que se utilizan para emitir informaciones recogidas por un sensor. Ya que, si agranda el número de niveles, agrandaran los detalles que se podrá emitir dichos datos.

d. Resolución Temporal

Es un tamaño de la frecuencia, en el que un satélite está competente para obtener imágenes de un punto definido, que se designa intervalo de revisita. Son de alta calidad temporal y son de gran importancia en el rastreo de eventos que varían en períodos respectivamente cortos, como un incendio, inundación, progreso de las cosechas y verificación del agua sí que esta se encuentra en el caso de contaminada, etc. (Marquez y Rojas, 2017)

e. Correcciones geométricas

El propósito de las correcciones geométricas es corregir las distorsiones introducidas por estos factores para que la imagen corregida pueda poseer la calidad geométrica de un mapa. (Saldaña, 2019)

f. Correcciones radiométricas

Saldaña (2019), la modificación consiste en transformar los valores digitales (ND valores crudos) de la imagen a magnitudes físicas de radiancia y reflectancia, anterior a la obtención de los índices de vegetación.

g. Correcciones atmosféricas

Se desarrollan a origen de que no todos los componentes se ven afectados de igual forma. El grosor de la atmósfera puede transformar y las nubes pueden afectar la percepción del sensor producto que no recibe la radiancia que ciertamente sale a partir de la superficie. (Saldaña, 2019)

2.2.7.4. Clasificación

Sánchez (2012), estas operaciones se utilizan para reconocer y ordenar los pixeles de la imagen. Los algoritmos

de clasificación digital utilizan la reflectancia de cada píxel en distintas longitudes de onda y un juicio estadístico para asignarlo a un género espectral (bosque, pasto, urbano, etc.). Existen varios procedimientos para la clasificación de imágenes, a continuación, se indicará las más comunes.

a. Clasificación Supervisada

El método supervisado en este proceso el usuario selecciona en la imagen zonas representativas del género de información que desea emplear en su clasificación (pasto, bosque, cultivo, etc.). Después el algoritmo de clasificación crea estadísticos para estas áreas y utiliza los resultados para ordenar el resto de la imagen. (Sánchez, 2012)

b. Clasificación No Supervisada

El método no supervisado en este proceso el algoritmo de clasificación decide a cuál clase de información (pasto, bosque, cultivo, etc.) asigna cada píxel. (Sánchez, 2012)

2.3. Definición de Término

2.3.1. Número de curva

El número de curva es una técnica hidrológica que nos ayuda a encontrar el contenido de escorrentía de una cuenca y establece diferentes cualidades físicas de la zona como diferentes usos de las coberturas y densidad. (Díaz y Mercado, 2017)

2.3.2. Escorrentía

La escorrentía son recorridos que hace el agua hasta alcanzar a un cauce. La escorrentía puede ser superficial, subsuperficial y subterránea, los cuales frecuentemente interactúan entre sí. La escorrentía superficial se forma cuando todos los poros del terreno han sido saturados de agua mediante la infiltración, de manera que el agua empieza a correr por la acción de la gravedad hacia el cauce más cerca. El cuerpo de escorrentía superficial que se genere dependerá las características de la cuenca, como circunstancias climáticas, topográficas y de suelos. (Ramón, 2015)

2.3.3. Precipitaciones

Las precipitaciones es el agua que cae a la superficie de la tierra, como resultado de la condensación, misma que cuando la temperatura de un conjunto de aire desciende bajo su punto de rocío, por lo que parte del vapor de agua inicia a condensarse en forma de gotas o en su defecto si la temperatura es menor a 0°C, se transforma en hielo rápidamente. Mediante núcleos de condensación, que son partículas higroscópicas, al final el agua, empiezan a aumentar de tamaño, incluso que por su peso precipitan. (Ramón, 2015)

2.3.4. Inundación

Anegamiento estacional de terrenos que no están generalmente cubiertos por el agua. Incluye las inundaciones ocasionadas por ríos, torrentes, de montaña, corrientes de agua y las inundaciones causadas por el mar en las zonas costeras, y puede descartar las inundaciones de las redes de alcantarillado. (Olcina, 2007)

2.3.5. Percepción remota

La percepción remota es la ciencia de obtener información sobre objetos lejanos fuera de hacer contacto físico con ellos, restringida a prevención de radiación electromagnética, incluyendo luz visible e infrarroja, al semejante las ondas de radio y calor. Tal definición involucrar que entre el área de la tierra y el sensor debe haber una interacción energética, ya sea por reflexión de la energía solar o de un haz energético artificial, o por emisión propia. (Villegas y Vega, 2008)

2.3.6. Cobertura del suelo

La cobertura del suelo es un paso fundamental para la gestión sustentable de los recursos naturales, la conservación de la biodiversidad, mitigación de los impactos en las dinámicas territoriales y en el cambio climático. (Saldaña, 2019)

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1. Tipo y diseño de la investigación

El tipo de la investigación es descriptiva, esto implica observar y describir eventos y situaciones sin influir sobre él de ninguna manera.

El diseño de la investigación documental, esto implica en la obtención de información o datos se realiza a partir de documentos.

Esta investigación se basa en la microcuenca Caplina, en base al número de curva (CN), es por ello será de forma de redacción y análisis de resultados asociados a la hipótesis y justificación propuestos en la investigación.

3.2. Acciones y actividades

Las actividades las hemos dividido en dos fases:

3.2.1. Fase preliminar

En esta primera fase se procedió a investigar y buscar toda la referencia histórica de trabajos realizados en la zona de estudio y zonas aledañas, así como documentación referido al tema.

3.2.2. Fase de procesamiento de información

Se realizó las siguientes actividades:

- Descarga de imágenes de los satélites LANDSAT, sensor TM y ETM+, a través de la página web: "earth explorer" (USGS).
- Procesamiento de información y tratamiento de imágenes LANDSAT, mediante una utilización el uso de herramientas modernas.
- Modelamiento con la aplicación de SIG y uso de software para poder generar laminas y poder analizarlas espacialmente, observar las diferencias de cada imagen y poder prepararlas para el modelo final de la investigación y calcular diferentes funciones como: reclasificación, conectividad entre elementos geográficos.
- Análisis de la información procesada, redacción del informe final

3.3. Materiales y/o instrumentos

Los materiales utilizados son las imágenes satelitales Landsat sensor TM y ETM+, modelo digital del terreno (curvas de nivel), información de tipo de suelo y cobertura vegetal.

Los instrumentos utilizados fueron las herramientas de Arcmap y ENVI.

3.4. Población y/o muestra de estudio

La población corresponde a la cuenca Caplina y la muestra son las subcuencas ubicadas en la Microcuenca del río Caplina.

La unidad de análisis es la vegetación y tipo de suelo de la microcuenca.
Técnicas de procesamiento y análisis de datos

3.4.1. Ubicación de la zona de estudio

La cuenca del río Caplina está ubicada en el sur del Perú, en la provincia y región de Tacna, comprende los distritos de Palca, Pachia, Calana, Pocollay, Ciudad Nueva, Alto de la Alianza, Gregorio Albarracín y Tacna.

La microcuenca Caplina tiene un área de 416.44 Km², corresponde a la subcuenca Media 01 del río Caplina y la Quebrada Cotañane, ubicada en el distrito de Pachia, se encuentra en los poblados de Caplina, Calientes, Dispersa (pachia), Ancoma, Toquela, Challaviento, Anquipaña, Chachacomani, Challata, Tocuco, Kovire y Ataspaca, como se muestra en la Figura 4.

Geográficamente las coordenadas de ubicación son las que se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1

Las coordenadas UTM de la zona de estudio

COORDENADAS SUPERIOR	COORDENADAS INFERIOR
366864.409	421633.268
8061913.071	7994179.603

Figura 3
 Mapa de ubicación de la zona de estudio

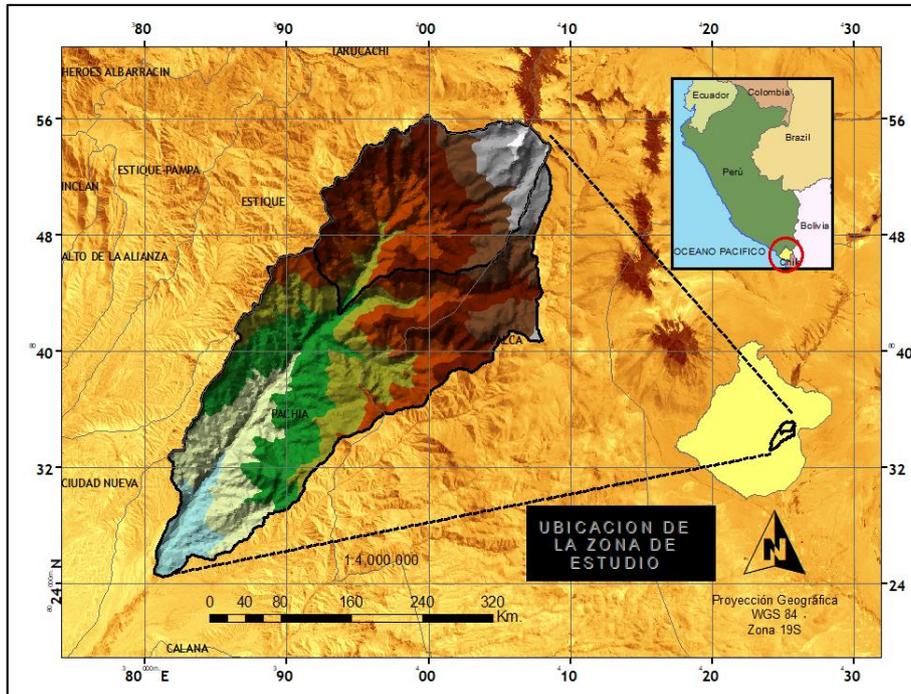
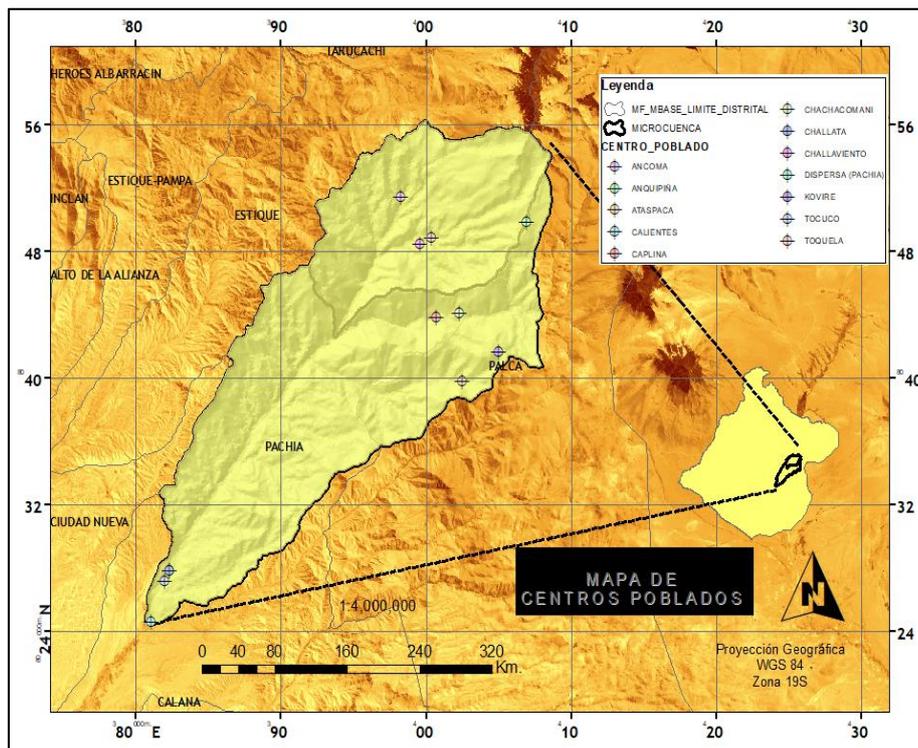


Figura 4
 Mapa de Centros Poblados



Para la delimitación de la microcuenca se utilizó la herramienta Hec_Geohms, la cual nos permite trabajar el procesamiento de la cuenca y generar el proyecto, se consideró esta microcuenca por los siguientes factores:

1. Los centros poblados están ubicados en una zona de desprendimiento, según la base de datos de Ordenamiento territorial del Gobierno Regional de Tacna.
2. Encontramos estaciones pluviométricas como: Calientes, Toquela, Palca y Talabaya, las cuales pertenecen al Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI).
3. Se pueden ubicar estructuras como reservorios de agua, puentes, etc, esto considerando que es una zona de alta vulnerabilidad económica media-alta, según la base de datos de Ordenamiento territorial del Gobierno Regional de Tacna.

3.4.2. Descarga de imágenes satelitales

Seguimos la siguiente secuencia de pasos

Paso 1: Ingresar a la página www.earthexplorer.usgs.gov para descargar las imágenes satelitales Landsat, se utilizó *Path:002 / Row:072*

Paso 2: Activamos las siguientes opciones en “Data Sets”:

(Data sets > Landsat > Landsat collection 1 > Landsat 8 OLI/TIRS C1 level-1 / Landsat 7 ETM + C1 level- 1 / Landsat 4-5 TM C1 level- 1 / Landsat 1-5 MSS C1 level- 1).

(Data sets > Landsat > Landsat Legacy > TM Mosaics (1984-1997) / ETM + Pan (1999-2003) / ETM + (1999-2003) / TM (1984-1997) / MSS 1-5 (1972-1987)).

Paso 3: Finalmente realiza la búsqueda de la imagen con la fecha a descargar. En la tabla 2, se muestra las fecha de adquisición, el tipo de Landsat y el sensor en los dos periodos.

Figura 5

Descarga de Imágenes Satelitales

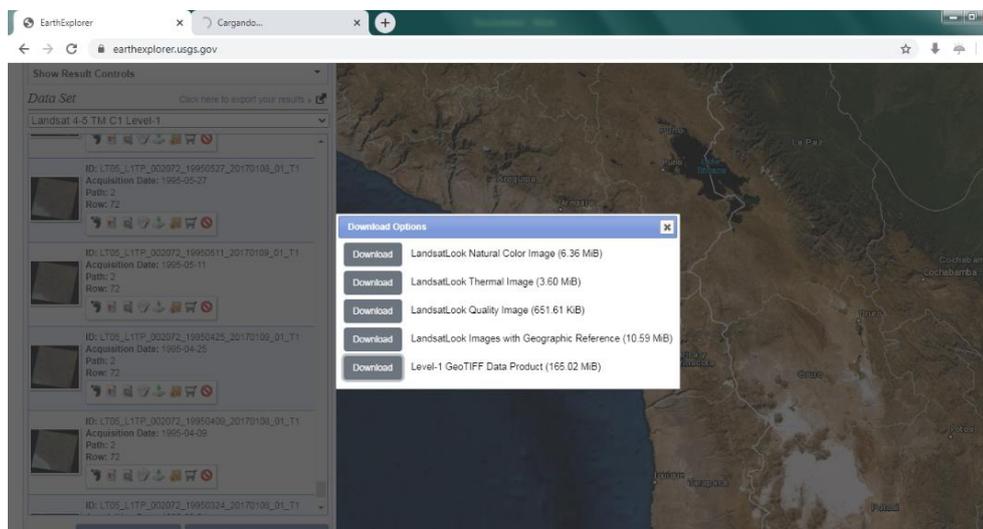


Tabla 2

Imágenes de los satelitales Landsat 5 y 7

Periodo seco			Periodo húmedo		
Fecha de adquisición	Landsat	Sensor	Fecha de adquisición	Landsat	Sensor
1995-08-31	5	TM	1995-04-09	5	TM
2000-08-04	7	ETM	2000-04-14	7	ETM
2005-08-26	5	TM	2005-03-19	5	TM
2010-09-25	5	TM	2010-05-04	5	TM
2014-08-27	7	ETM	2014-05-07	7	ETM
2019-10-12	7	ETM	2019-05-21	7	ETM

3.4.3. Preprocesamiento de la información

Igual que en el ítem anterior se realizó una secuencia de pasos

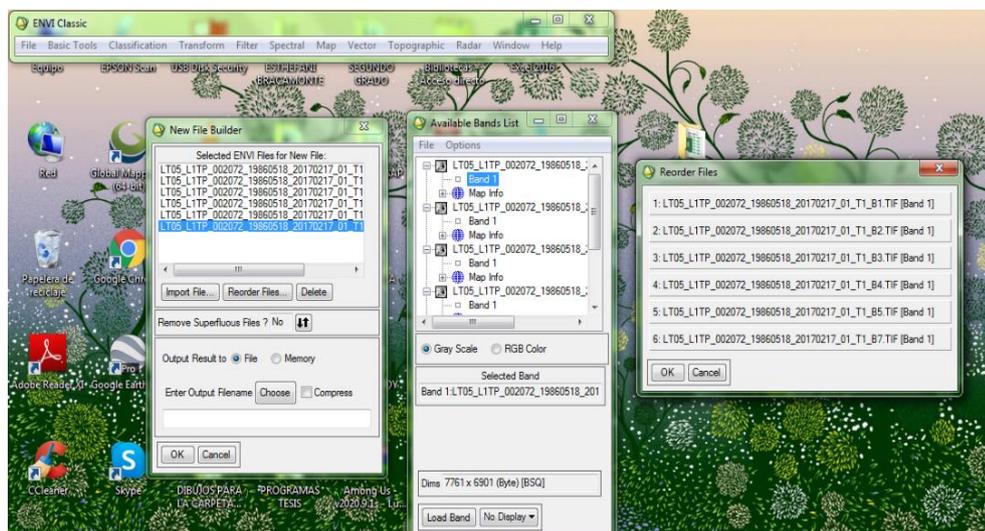
a. Paso 1. Se procedió a ordenar las bandas

Se utilizó el programa ENVI v. 5.3, a través de la extensión (*File > Open Imagen File*), seleccionar las bandas del 1 al 7, en los Landsat 4-7 las bandas 3 y 4 serán reemplazadas con las bandas calibradas.

Aparecerá la ventana la lista de las bandas que fueron seleccionadas, en la barra principal, realizar la siguiente extensión (*File > Save File as > ENVI Standard*). Se abre una ventana llamada “New File Builder”, seleccionaremos la opción “Import File”, reordenamos de manera ascendente las bandas. Una vez ordenada las bandas, seleccionamos la opción “Choose”, donde elegimos la carpeta de salida y guardamos el archivo y seleccionar “Ok”, para tener una mejor visualización en la combinación de las bandas, seleccionaremos la opción “RGB Color”, donde aparecerán tres filas que pertenece a los colores primarios, en la primera fila (R) se escogerá con la opción “Banda 7”, en la segunda fila(G) con la opción “Banda 4” y la tercera fila(B) con la “Banda 2”, luego seleccionar en “Load RGB”, esperamos por unos segundos.

Figura 6

Secuencia para ordenar bandas



b. Paso 2: Cortar imágenes satelitales

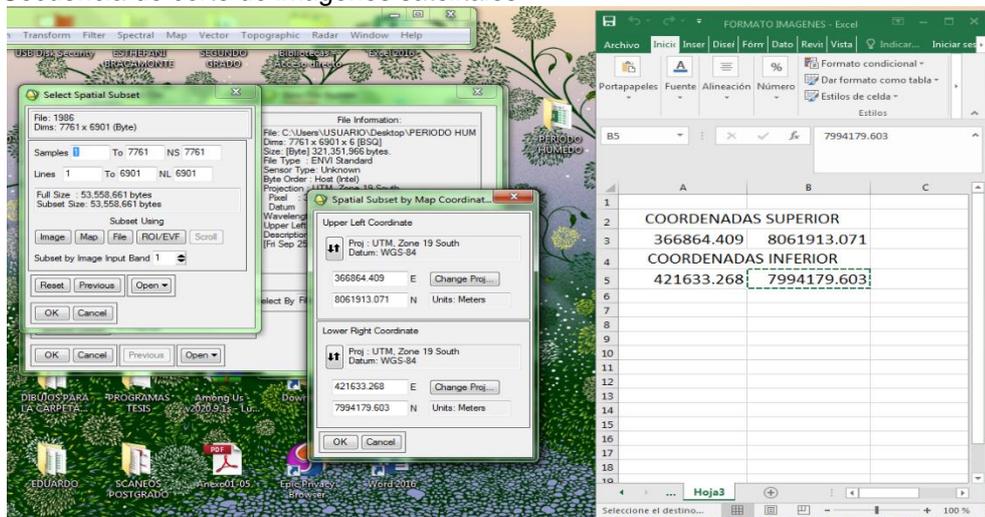
Para cortar la imagen satelital en el área de estudio, se utilizo las siguientes coordenadas de corte:

- **Coordenada Superior:** Este: 366864.409, Norte: 8061913.071
- **Coordenada Inferior:** Este: 421633.268, Norte: 7994179.603

Para cortar la imagen se utilizó el programa ENVI v.5.3, debemos ingresar la siguiente extensión (*File > Open Imagen File*), se seleccionarán; la banda ordenada de una fecha adquirida, seleccionar la opción “RGB Color”, y realizar la combinación en color natural, para obtener una mejor visualización de la imagen se puede hacer uso de la opción “Pixel Locator”. Ingresamos la extensión (*File > Save Fiel As > ENVI Standard*) se abre una ventana donde se selecciona “*Import File*”, ubicamos la banda y seguir la extensión (*Spatial Subset > Map*) donde se adjunta los datos de las coordenadas superior e inferior.

Figura 7

Secuencia de corte de imágenes satelitales



c. Paso 3: Exportar imagen satelital

Para poder trabajar en Arcmap se debe exportar la imagen en formato *TIFF/GEOTIFF*, en la figura 9 se muestra el diagrama para exportar la imagen.

Figura 8

Diagrama de exportar imagen satelital en Arcmap



d. Paso 4: Descargar curvas de nivel

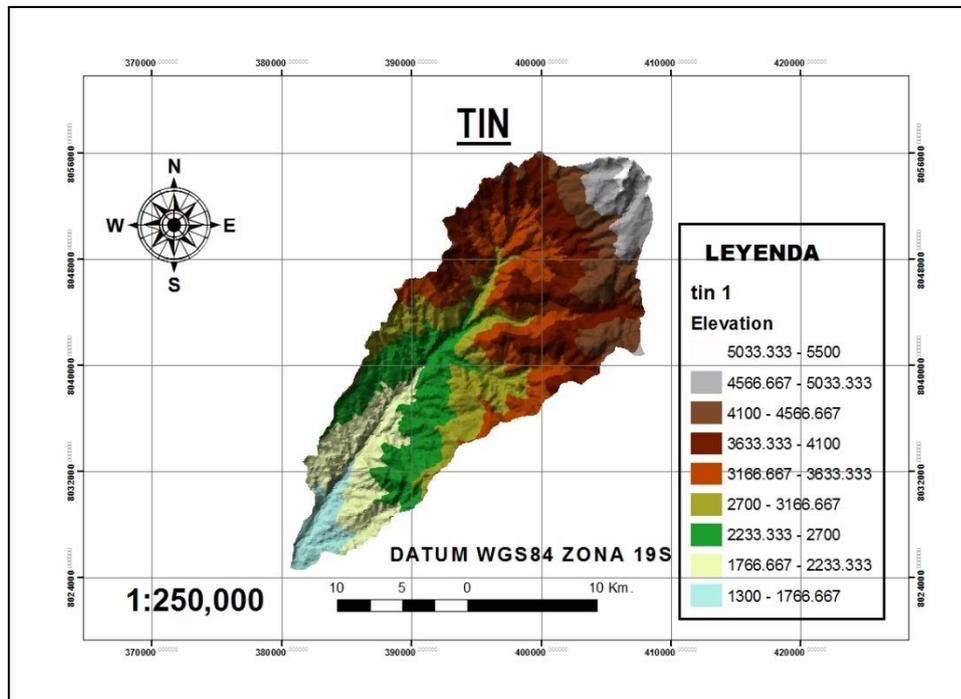
El uso del programa Google Earth Pro permite crear un polígono en el área del departamento de Tacna. Seleccionamos la opción de Herramientas y opciones, activamos la proyección en UTM. Luego elegimos la carpeta de salida y guardamos el archivo con formato (kmz), utilizando el programa Global Mapper v. 20, podremos descargar curvas de nivel en la zona de estudio, activamos la opción “Select Data Source” e ingresamos la extensión (*Worldwide data > SRTM Worldwide Elevation Data [1-arc-second Resolution, SRTM Plus V3]*) y seleccionar conectar. Automáticamente se genera la curva de nivel, finalmente seleccionamos la opción “Exportar Líneas” luego elegimos la carpeta de salida y guardamos.

e. Paso 5: Imagen triangular (TIN)

Para crear el “TIN”, se utiliza las curvas de nivel de nuestra zona de trabajo para observar los datos de altura máxima y mínima.

Utilizamos las herramientas de Arcmap, (*Arctoolbox > 3D Analysis Tools > Data Management > Tin > Create TIN*).

Figura 9
Lamina de Imagen triangular "TIN"



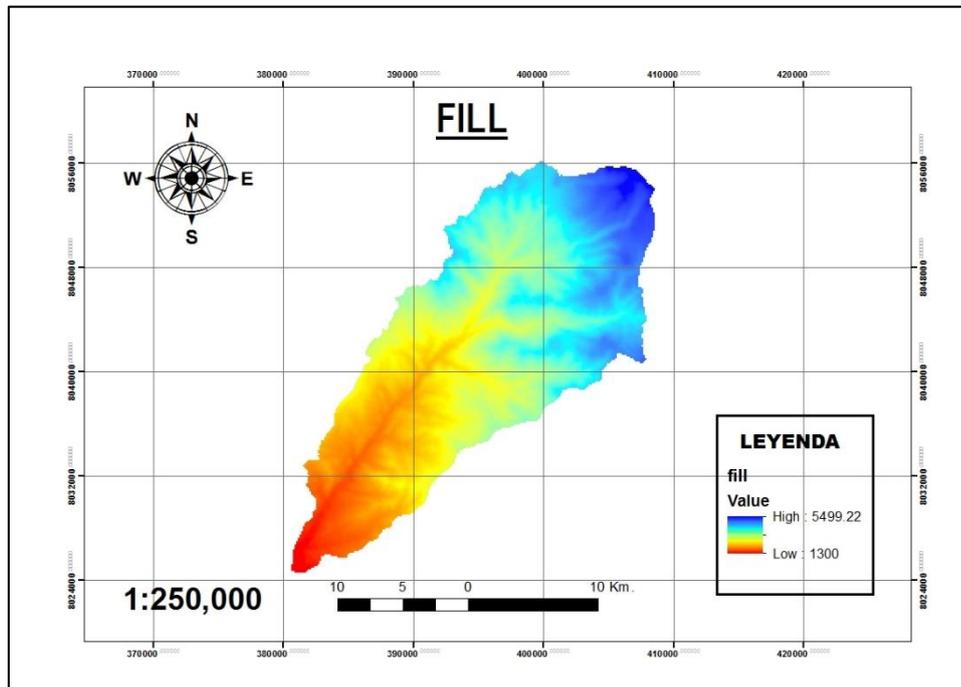
f. Paso 6: Creación del Modelo de Elevación Digital (DEM)

Para crear el Modelo de Elevación Digital (DEM), debemos convertir la imagen TIN a formato raster, para ello ingresamos a nuestra caja de herramientas (*Arctoolbox > 3D analyst tools > Conversion > From Tin > Tin to Raster*). Finalmente obtenemos el Modelo de Elevación digital.

3.4.4. Parámetros morfométricos de cuenca

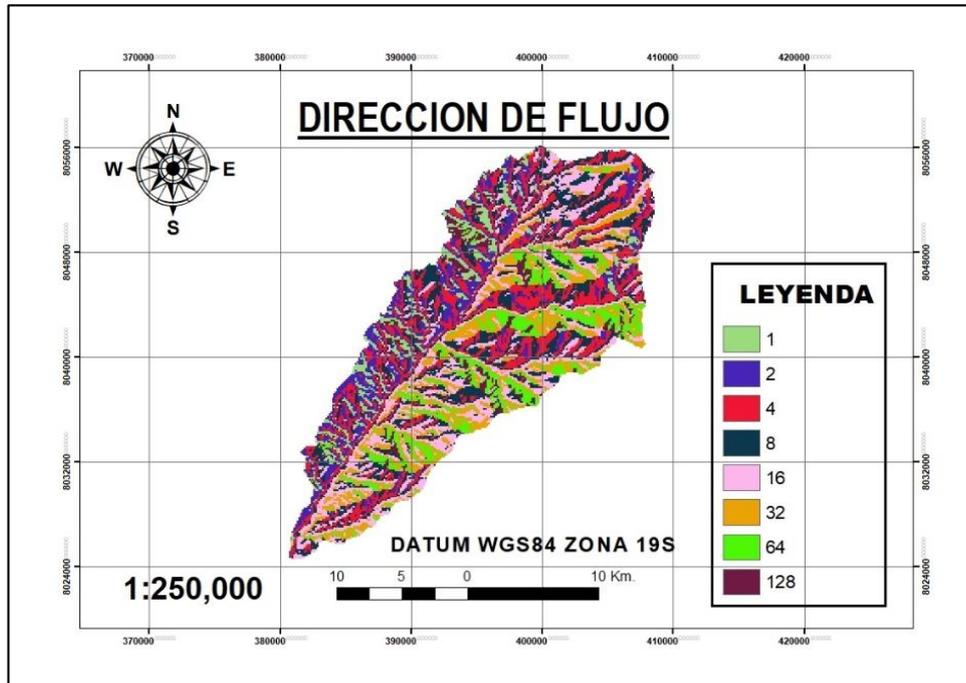
Los parámetros morfométricos de la cuenca nos servirán para poder determinar las características de la cuenca, las cuales tienen una estrecha relación con el sistema hidrológico, es por ello se determinan la red de drenaje, lo cual nos permite ver el volumen y escurrimiento hasta la velocidad y dirección de flujo. Se utilizó la herramienta Hydrology de Arcmap, lo primero es generar el Fill (relleno). Para crear una imagen Fill ingresamos a nuestra caja de herramientas (*Arctoolbox > Spatial Analyst tools > Hidrology > Fill*).

Figura 10
Mapa de Fill (relleno)



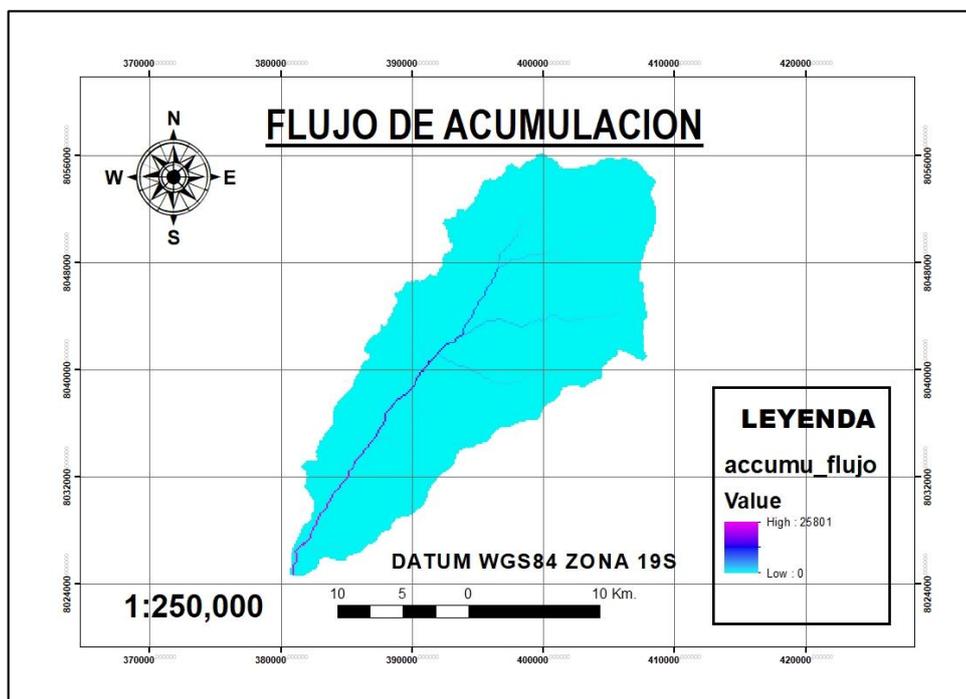
Luego debemos generar la dirección de flujo, ingresamos a la caja de herramientas (*Arctoolbox > Spatial Analyst tools > Hidrology > Flow Direction*).

Figura 11
Mapa de Dirección de Flujo



Se procede a generar el flujo acumulado, (Arctoolbox > Spatial Analyst tools > Hydrology > Flow Accumulation).

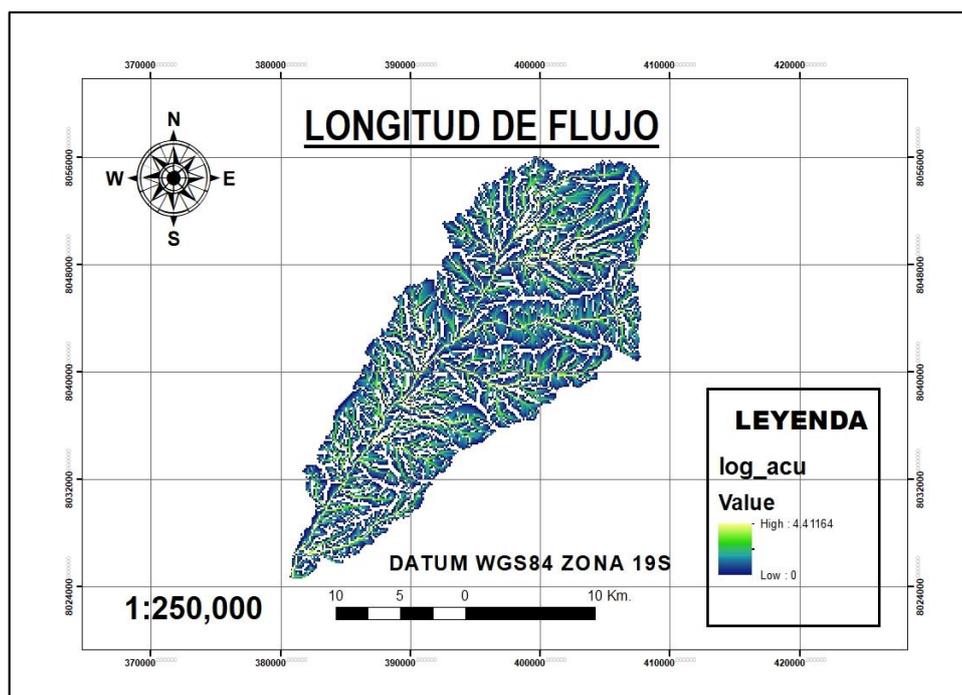
Figura 12
Mapa de Flujo de acumulación



a. Longitud de flujo

Nos permitirá determinar el cauce principal de la cuenca, utilizamos la caja de herramientas (*Arctoolbox > Spatial Analyst tools > Hidrology > Flow Length*).

Figura 13
Mapa de Longitud de flujo



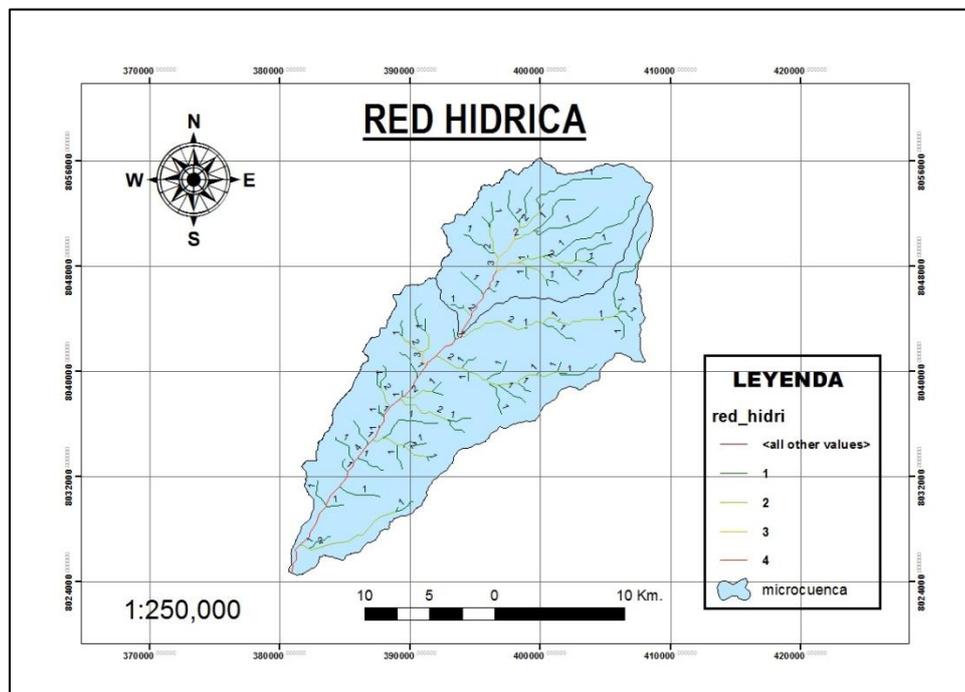
b. Orden de red hídrica

La orden de la red hídrica nos indica la jerarquía de los cursos de agua, para trabajar usamos la siguiente secuencia (*Arctoolbox > Spatial analyst tools > Map Algebra > Raster Calculator*), utilizamos el Raster Calculator, ingresamos el siguiente algoritmo con ("*log_acc*">=2,"*log_acc*").

Debemos unir los segmentos producidos (*Arctoolbox > Spatial analyst tools > Hidrology > Stream Link*). Tenemos que dar el orden de corrientes. Ingresamos a nuestra caja de herramientas (*Arctoolbox > Spatial analyst tools > Hidrology > Stream Order*).

Finalmente creamos el orden de corrientes como se muestra en la siguiente figura.

Figura 14
Mapa de red hídrica



c. Curva hipsométrica

La curva hipsométrica nos permitirá determinar las altitudes de la cuenca, identificando así el relieve, este indica el porcentaje de la cuenca que está por encima de la cota de altitud media. Para procesar esta información se de utilizar la herramienta (*Insert > Data Frame*), se reclasifica (*Arctoolbox > Spatial analyst tools > Reclass > Reclassify > Classification > Numerical Precisión*).

d. Propiedades de superficie

Se determinó el área, perímetro, coeficiente de compacidad, factor de forma y pendiente media de la cuenca, todas estas están relacionadas con la superficie de la cuenca. También se determinó el centroide en X y centroide en Y

e. Pendiente

Este parámetro es importante para determinar la superficie de la cuenca, en la caja de herramientas usamos (*Arctoolbox > Spatial analyst tools > Surface >*

Slope), se debe reclasifica (*Arctoolbox > Spatial analyst tools > Reclass > Reclassify*).

f. Tiempo de concentración

Este valor nos indica el tiempo que necesita una cuenca para poder escurrir hasta el punto de salida, se trabaja con la fórmula del servicio de carreteras de California.

Ecuación 2 Tiempo de concentración

$$tc = \left(\frac{0.87 * L^3}{H} \right)^{0.385}$$

Donde:

L= Longitud más largo del cauce principal (Km)

H = Diferencia entre las dos elevaciones extremas

3.4.5. Índice Diferencial de Vegetación Normalizado (NDVI)

Para determinar el NDVI se debe trabajar con las bandas 3 y 4, ya que como se indicó en la parte conceptual estas son la banda visible – rojo y la banda del infrarrojo cercano respectivamente, esto se realiza para los Landsat de sensor ETM+ y TM, primero debemos realizar la corrección atmosférica, realizar el cambio de número digital (ND) a radiancia, para ellos utilizamos la siguiente ecuación

Ecuación 3 Conversión de ND a Radiancia

$$L_{\lambda} = \frac{LMAX_{\lambda} - LMIN_{\lambda}}{QCALMAX - QCALMIN} * (QCAL - QCALMIN) + LMIN_{\lambda}$$

Donde:

L_{λ} = Radiancia espectral

QCAL = Cuantificar calibrar valor de píxel en Número Digitales (DN)

LMAX $_{\lambda}$ = Escala de radiancia espectral a QCALMAX en (Watts/(m²*sr* μ m))

$L_{MIN\lambda}$ = Escala de radiancia espectral a Q_{CALMIN} en $(Watts/(m^2*sr*\mu m))$

Q_{CALMIN} = Mínimo cuantificar calibrar valor de píxel (correspondiente a $L_{MIN\lambda}$) en DN

Q_{CALMAX} = Máximo cuantificar calibrar valor de píxel (correspondiente a $L_{MAX\lambda}$) en DN = 255

Luego se transformó de radiancia a reflectancia, para este procesamiento se utilizó la herramienta de ENVI (*Basic Tools > Preprocessing > Data-Specific Utilities > Landsat TM > Landsat Calibration*), calibrar, en "Calibration Type" seleccionaremos "Reflectancia".

Una vez realizado el cambio a reflectancia, recién podemos utilizar el algoritmo para determinar el Índice de Vegetación De Diferencia Normalizada (NDVI), utilizando la siguiente ecuación

Ecuación 4

Ecuación para determinar el NDVI

$$NDVI = \frac{(NIR - RED)}{(NIR + RED)}$$

Donde:

NDVI: índice de vegetación de diferencia normalizada.

NIR: Banda del infrarrojo cercano

RED: Banda del rojo.

Reemplazando los datos en la ecuación 4 podemos tener la ecuación 5 (Para el caso de la imagen Landsat 5 TM o Landsat 7 ETM+, se aplicará la misma fórmula)

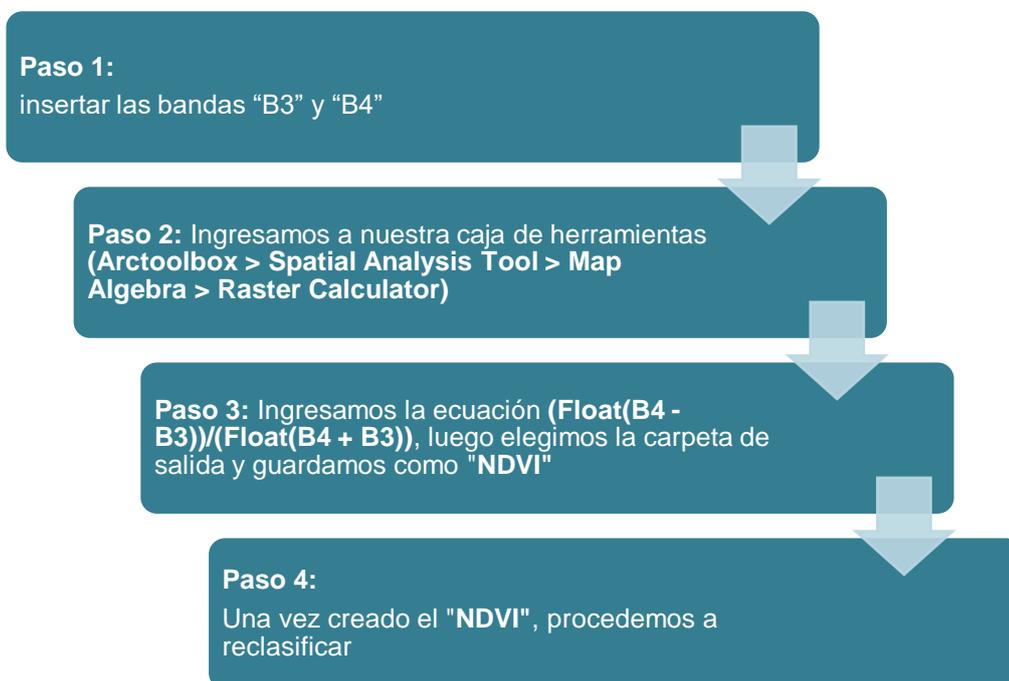
Ecuación 5

Ecuacion para determinar NDVI en imágenes Landsat

$$NDVI = \frac{(Banda\ 4 - Banda\ 3)}{(Banda\ 4 + Banda\ 3)}$$

Figura 15

Diagrama para crear el "NDVI"



Una vez generado el NDVI, se reclasifico los valores para poder determinar las zonas de vegetación sana, suelos y cuerpos de agua, en la tabla 3 podemos visualizar la descripción de cada intervalo.

Tabla 3

Reclasificación de NDVI

NDVI	ATRIBUTO
-1 - 0	Agua o cubiertas artificiales
0 – 0.2	Suelos desnudos o vegetación muerta
0.2 – 0.4	Vegetación dispersa o poco vigorosa
0.4 – 0.6	Vegetación abundante y vigorosa
0.6 - 1	Vegetación muy densa y vigorosa

Para determinar la relación existente entre NDVI y suelo se determinó el área superficial de cada intervalo.

Para reclasificar el raster “NDVI” ingresamos a la caja de herramientas (*Arctoolbox > Spatial analyst tools > Reclass > Reclassify*). Luego en “Classification”, donde se abrirá una ventana en “Method” vamos a cambiar a “Equal Interval” (Intervalos de Igualdad), en “Classes” Finalmente hemos reclasificado en tres intervalos el “NDVI”. Se debe transformar el NDVI creado de formato ráster a polígono, utilizando la caja de herramientas (*Arctoolbox > Conversión Tools > From Raster > Raster to Polygon*).

Para calibrar el modelo se utilizó el shapefile elaborado por el MINAM (2012) el cual desarrollo el Mapa de Cobertura Vegetal del Perú, la cual es una herramienta de gestión del patrimonio natural y a la vez de soporte en la implementación de la Política Nacional del Ambiente.

También se utilizó la información procesada por Portuguez y Verano (2016), en el cual se asigna un valor a cada cobertura de vegetacion

Tabla 4
Reclasificación de la cobertura y uso

Descripción de coberturas	Código
Cuerpos de agua	1
Nevados	2
Centros poblados	3
Cultivos/Áreas intervenidas	4
Matorral arbustivo abierto	5
Pradera en zona de clima frio	6
Sabana de árboles leñosos	7
Sabana hidromorfica	8
Selva lluviosa tropical	9
Selva lluviosa tropical con bambúes	10
Selva temporal de hojas anchas	11
Selva hidrolítica	12
Desierto en zona de clima árido	13

Fuente: Maurtua y Zelada (2016)

3.4.6. Determinación de Número de Curva (CN)

El Número de Curva, está en relación con la retención potencial máxima (S), como se muestra en la siguiente ecuación

Ecuación 6
Retención potencial máxima

$$S = \frac{100}{CN} - 10$$

La ecuación 6 se aplica en condiciones húmedas normales (AMC II), pero si estamos trabajando en condiciones secas (AMC I) o en condiciones humedad (AMC III). Sabemos que el Número de Curva (CN), ha sido procesado por el Soil Conservation Service, teniendo como base el tipo y uso de suelo. Estos se trabajan en cuatro grupos:

- Grupo A: Arena profunda, suelos profundos depositados por el viento, limos agregados.
- Grupo B: Suelos pocos profundos depositados por el viento, marga arenosa.
- Grupo C: Margas arcillosas, margas arenosas poco profundas, suelos con bajo contenido orgánico y suelos con altos contenidos de arcilla.
- Grupo D: Suelos que se expanden significativamente cuando se mojan, arcillas altamente plásticas y ciertos suelos salinos.

Esta relación se puede visualizar en la siguiente tabla, Números de curva de escorrentía para usos selectos de tierra agrícola, suburbana y urbana (condiciones antecedentes de humedad II, $I_a = 0.2s$)

Tabla 5
Número de curva de escorrentía para usos selectos de tierras agrícolas, suburbana y urbana

DESCRIPCION DEL USO DE LA TIERRA	GRUPO HIDROLOGICO DEL SUELO			
	A	B	C	D
Tierra cultivada: sin tratamientos de conservación	72	81	88	91
con tratamiento de conservación	62	71	78	81
Pastizales: condiciones pobres	68	79	86	89
condiciones optimas	39	61	74	80
Vegas de ríos: condiciones óptimas	30	58	71	78

Bosques: troncos delgados, cubierta pobre, sin hierbas, cubierta buena	45 25	66 55	77 70	83 77
Áreas abiertas, césped, parques, campo de golf, cementerios, etc.				
Óptimas condiciones: cubierta de pasto en el 75% o más	39	61	74	80
Condiciones aceptables cubierta de pasto en el 50% al 75%	49	69	79	84
Áreas comerciales de negocios (85% impermeables)	89	92	94	95
Distritos Industriales (72% impermeables)	81	88	91	93
Residencial:				
Tamaño promedio del lote		Porcentaje		
promedio impermeable				
1/8 acre o menos	65	77	85	90
1/4 acre	38	61	75	83
1/3 acre	30	57	72	81
1/2 acre	25	54	70	80
1 acre	20	51	68	79
Paqueadores pavimentados, techos, accesos, etc.	98	98	98	98
Calles y carreteras:				
Pavimentados con cunetas y alcantarillados	98	98	98	98
Grava	76	85	89	91
Tierra	72	82	87	89

Fuente: Chow V. T. (1994)

Para determinar el Número de Curva (CN), se utilizó la base de datos del estudio realizado por Portuguese y Verano (2016), denominado “Generación de mapa de número de curva con sistema de información geográfica”, en el cual se utiliza la descripción de suelo dado por la FAO y se identifica el grupo hidrológico de suelo propuesto por Chow y Ven (1994), quienes nos indican las características de suelo asociados a la infiltración.

- a. En los suelos que el agua infiltra rápidamente, profundos y de textura gruesa (arena o arena-limosa), son excesivamente drenados.
- b. Los suelos que están muy húmedos tienen una capacidad de infiltración moderada, si la profundidad es media a profunda y la textura es franco-arenosa, franca, francoarcillosa o franco-limosa, son suelos bien o moderadamente drenados.
- c. En suelos muy húmedos la infiltración es lenta, la profundidad es menor a media y la textura es franco-arcillosa, francoarcillosa-limosa o arcillosa-arenosa. Suelos imperfectamente drenados.

- d. Suelos húmedos la infiltración es muy lenta, en horizontes de arcilla pobremente drenados (se incluye suelos con nivel freático permanentemente altos y de poco espesor).

En la siguiente tabla se puede apreciar la descripción de suelo, la simbología y al grupo hidrológico al que pertenecen

Tabla 6
Grupo hidrológico según descripción del suelo.

DESCRIPCION DE SUELOS	SIMBOLOGIA	GRUPO HIDROLOGICO
Acrisol Háplico - Alisol Háplico - Lixisol Háplico	ACh-ALh-LXh	C
Acrisol Háplico - Alisol Háplico - Luvisol Crómico	ACh-ALh-LVh	C
Arenosol Háplico – Solonchak Háplico	ARh-SCh	A
Cambisol dístrico – Acrisol háplico	CMd-ACh	C
Cambisol dístrico – Acrisol háplico – Lixisol háplico	CMd-ACh-LXh	C
Cambisol dístrico – Alisol háplico	CMd-ALh	C
Cambisol dístrico – Nitisol háplico	CMd-NTh	C
Cambisol éútrico – Phaeozem háplico	CMe-PHh	B
Cambisol éútrico – Vertisol éútrico	CMe-VRe	C
Fluvisol éútrico – Gleysol éútrico	FLe-GLe	B
Fluvisol éútrico – Regosol éútrico	FLe-RGe	B
Gleysol dístrico – Cambisol dístrico	GLd-CMd	B
Gleysol dístrico – Histosol Fíbrico	GLd-HSf	D
Gleysol dístrico – Lixisol háplico – Fluvisol dístrico	GLd-LXh-FLd	A
Leptosol dístrico – Afloramiento lítico	LPd-R	B
Leptosol dístrico – Andosol .mbrico – Afloramiento lítico	LPd-ANu-R	B
Leptosol dístrico – Andosol vítrico	LPd-ANz	B
Leptosol dístrico – Cambisol dístrico – Regosol dístrico	LPd-CMd-RGd	B
Leptosol dístrico – Regosol dístrico – Afloramiento lítico	LPd-RGd-R	B
Leptosol éútrico – Afloramiento lítico	LPe-R	B
Leptosol éútrico – Cambisol éútrico	LPe-CMe	C

Leptosol éutrico – Cambisol éutrico – Regosol éutrico	LPe-CMe-RGe	B
Leptosol éutrico – Kastanozem háplico - Afloramiento lítico	LPe-KSh-R	B
Leptosol lítico – Afloramiento lítico	LPq-R	B
Lixisol háplico – Gleysol dístrico	LXh-GLd	B
Luvisol crómico – Cambisol éutrico	LVx-CMe	C
Regosol dístrico - Afloramiento lítico	RGd-R	B
Regosol dístrico – Cambisol dístrico	RGd-CMd	C
Regosol éutrico – Andosol móllico	RGe-ANm	C
Regosol éutrico – Calcisol háplico	RGe-CLh	C
Regosol éutrico – Cambisol éutrico	RGe-CMe	C
Solonchak háplico – Leptosol éutrico	SCh-LPe	A

Fuente: (Maurtua & Zelada, 2016)

En la siguiente tabla se muestra el valor de Número de Curva (CN), de acuerdo con el grupo hidrológico del suelo.

Tabla 7
Número de curva para distintas condiciones hidrológicas.

USO DEL SUELO O COBERTURA	SISTEMA DE LABOREO	CONDICION HIDROLOGICA PARA INFILTRACION	GRUPO HIDROLOGICO DEL SUELO			
			A	B	C	D
Barbecho	Líneas	Mala	77	86	91	94
	Líneas	Mala	72	81	88	91
	Líneas	Buena	67	78	85	89
Cultivos en línea	En contorno	Mala	70	79	84	88
	En contorno	Buena	66	75	82	86
	En contorno/terrazas	Mala	66	74	80	82
	En contorno/terrazas	Buena	62	71	78	81
	Líneas	Mala	65	76	84	88
Cultivos densos	Líneas	Buena	63	75	83	87
	En contorno	Mala	63	74	82	85
	En contorno	Buena	61	73	81	84
	En contorno/terrazas	Mala	61	72	79	82
	En contorno/terrazas	Buena	59	70	78	81
Forrajeras y leguminosas pasturas en rotación	Líneas	Mala	66	77	85	89
	Líneas	Buena	58	72	81	85
	En contorno	Mala	64	75	83	85
	En contorno	Buena	55	69	78	83
	En contorno/terrazas	Mala	63	73	80	83

Pastura natural	En contorno/terrazas	Buena	51	67	76	80
		Mala	68	79	86	89
		Regular	49	69	79	84
	En contorno	Buena	39	61	74	80
		Mala	47	67	81	88
		Regular	25	59	75	83
Praderas Bosques	En contorno	Buena	6	35	70	79
		Buena	30	58	71	78
		Mala	45	66	77	83
		Regular	36	60	73	79

Fuente: (Chow et al., 1994)

Con la combinación de las tablas anteriores se procesó la siguiente tabla, datos que nos servirán para generar el modelo del número de curva (CN)

Tabla 8
Valores de los grupos hidrológicos

DESCRIPCIÓN DEL USO DEL SUELO	GRUPO HIDROLOGICO			
	A	B	C	D
Cuerpos de agua	100	100	100	100
Nevados	98	98	98	98
Centros poblados	77	85	90	92
Cultivos / Áreas intervenidas	62	71	78	81
Matorral arbustivo abierto	45	66	77	83
Pradera en zona de clima frío	68	79	86	89
Sabana de árboles leñosos	45	66	77	83
Sabana hidromórfica	25	55	70	77
Selva lluviosa tropical	25	55	70	77
Selva lluviosa tropical con bambúes	25	55	70	77
Selva temporalde hojas anchas	25	55	70	77
Selva hidrolítica	39	61	74	80
Desierto en zona de clima árido	72	81	88	91

Fuente: (Maurtua & Zelada, 2016)

Para generar el modelo debemos tener el DEM (Modelo de Elevación Digital) está en formato raster, una imagen que trabaja con píxeles que nos van a dar un valor determinado en cada píxel, nos determinan las propiedades de la superficie, como la visibilidad y el flujo de agua. Se obtiene cuando procesamos un "TIN" que es una imagen triangular.

Para generar el número de curva utilizaremos la metodología del Servicio de Conservación de Recursos Naturales de EE.UU. (Natural Resources Conservation Service – NRCS), originalmente llamado Servicio de Conservación

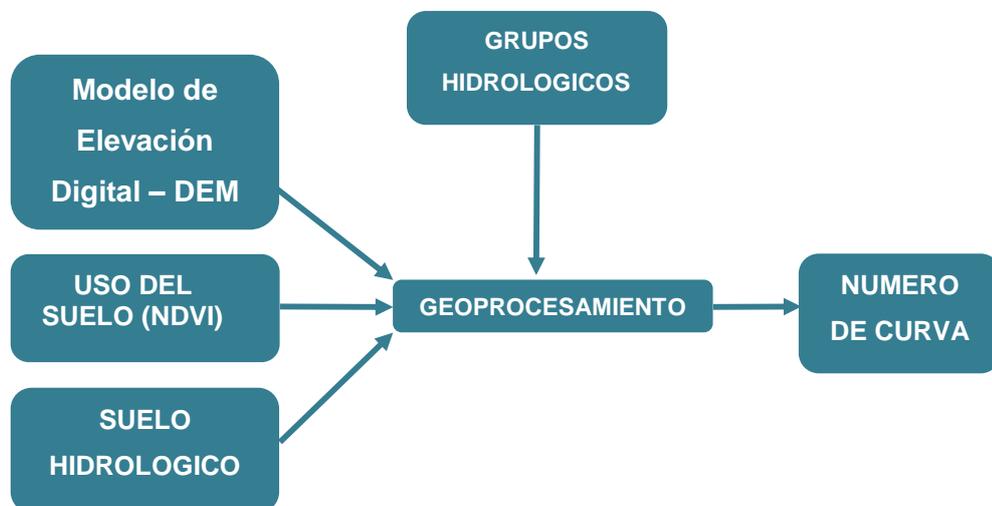
de Suelos (Soil Conservation Service - SCS), el área donde se aplicará será en la microcuenca del río Caplina, para poder generar el Número de Curva (CN) se necesitarán los siguientes componentes:

- Mapa de Cobertura Vegetal
- Modelo de Elevación Digital – DEM
- Mapa de Tipos de Suelo

Para generar el Número de curva se utilizó la extensión HEC-GeoHMS (*Utilily > Generate CNgrid*), el algoritmo utilizado se muestra en el siguiente diagrama.

Figura 16

Diagrama del Geoprocesamiento



Fuente: Portugués y Verano (2016)

CAPÍTULO IV RESULTADOS

4.1. Parámetros morfométricos de la cuenca

Como observamos en la tabla 9, se logró determinar las propiedades de superficie de la cuenca, tomando como referencia la clasificación de Campos (1992), el área de estudio es pequeña – intermedia.

En cuanto al perímetro este nos servirá para determinar el factor de forma de la cuenca, según lo expresado por Pérez (1979), valores mayores a 1.20 corresponde a cuencas rodeando el desagüe.

Gaspari et al. (2012), nos indica que el Coeficiente de compacidad de una cuenca está relacionado con la forma de la cuenca, en nuestra zona de estudio tenemos un valor de 2.19, que corresponde a una cuenca rectangular.

Tabla 9
Propiedades de superficie de la cuenca

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	VALOR
Área	km ²	416.44
Perímetro	km	158.80
Coeficiente de compacidad (Gravelius)		2.19
Factor de forma		1.76
Pendiente promedio de la cuenca	%	32

Se determinó también las propiedades relacionadas con la altitud de la cuenca, teniendo una cota máxima de 5 499.22 y una cota mínima de 1 300, lo cual nos representa que es una cuenca muy accidentada. El valor de la altitud media de la cuenca nos indica el área por encima del 50% de la misma en este

caso el valor es de 3 609.66, lo mismo en la altitud media que es de 3 437.08. estos datos nos indica la topografía de la microcuenca.

Tabla 10
Propiedades relacionadas a la altitud de la cuenca.

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	VALOR
X centroide	m	793.29
Y centroide	m	16088.32
Cota máxima	msnm	5499.22
Cota mínima	msnm	1300.00
Altitud media	msnm	3609.66
Altitud más frecuente	msnm	3437.08

Se determino también las propiedades relacionadas con la red hídrica la longitud máxima del cauce principal es de 48 512.7 Km y la pendiente promedio de la red hídrica es de 2.32%, en cuanto al orden de red hídrica el orden más pequeño (1), nos indican la primera parte de la ramificación, la microcuenca Caplina presenta una ramificación de orden 4, esto quiere decir que tiene tres ramificaciones es una cuenca con un sistema de drenaje bien desarrollado y con condiciones de infiltración adecuados, así como una capacidad de retención mayor.

Tabla 11
Propiedades relacionadas a la red hídrica.

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	VALOR
Longitud del curso principal	km	48512.70
Orden de la red hídrica	und	4
Longitud de la red hídrica	km	236.15
Pendiente promedio de la red hídrica	%	2.32
Pendiente del cauce principal	m/km	0.09

En los parámetros generados se tiene el tiempo de concentración que es uno de los parámetros más importantes para determinar la planificación del uso de suelo y en el área de gestión de recursos, podríamos decir que es el tiempo mínimo que demora en salir una gota de lluvia desde la parte alta de la cuenca hasta el punto de salida, para la microcuenca se tiene un tiempo de 9 861.85 horas

Tabla 12
Parámetros generados

Parámetros Generados		
Tiempo de concentración	horas	9861.85
Pendiente del cauce principal	m/Km	0.09

4.2. Análisis de Índice de Vegetación Normalizado (NDVI)

Para determinar el Índice Diferencial de Vegetación Normalizado (NDVI), se reclasifico en intervalos de igualdad y se determinó la superficie de descripción para los dos periodos. Teniendo como resultado para la superficie de cubiertas artificiales en el año 1995 es de 232.60 Km² y para el año 2019 de 413.15 Km², esto en referencia al periodo seco y para el periodo húmedo se tiene una superficie de 215.50 Km² y 411.75 Km² para los años 1995 y 2019 respectivamente como podemos observar en la tabla 13 y 14 no se cuenta con vegetación muy densa y vigorosa en la zona de estudio solo podemos encontrar vegetación dispersa o poco vigorosa con la superficie menor a 3 Km², para los diferentes años en los dos periodos.

Tabla 13
Análisis de Índice de Vegetación Normalizado (Periodo Seco)

NDVI	Descripción	Periodo Seco/Superficie (Km ²)	
		Año 1995	Año 2019
-1 - 0	Agua o cubiertas artificiales	232.60	413.15
0 – 0.2	Suelos desnudos o vegetación muerta	182.21	2.67
0.2 – 0.4	Vegetación dispersa o poco vigorosa	1.51	0.52

0.4 – 0.6	Vegetación abundante y vigorosa	0.08	0.11
0.6 - 1	Vegetación muy densa y vigorosa	-	

Tabla 14
Análisis de Índice de Vegetación Normalizado (Periodo Húmedo)

NDVI	Descripción	Periodo Húmedo / Superficie (Km ²)	
		Año 1995	Año 2019
-1 - 0	Agua o cubiertas artificiales	215.50	411.75
0 – 0.2	Suelos desnudos o vegetación muerta	197.25	3.14
0.2 – 0.4	Vegetación dispersa o poco vigorosa	2.90	1.18
0.4 – 0.6	Vegetación abundante y vigorosa	0.78	0.26
0.6 - 1	Vegetación muy densa y vigorosa		-

Entonces podemos decir que en la microcuenca del río Caplina lo que predomina son áreas de cubiertas artificial las cuales han ido incrementando en el tiempo y en el caso de vegetación se ha visto una perdida, haciendo el análisis de la cobertura vegetal.

Figura 17
Análisis correlacional del NDVI en función de coberturas

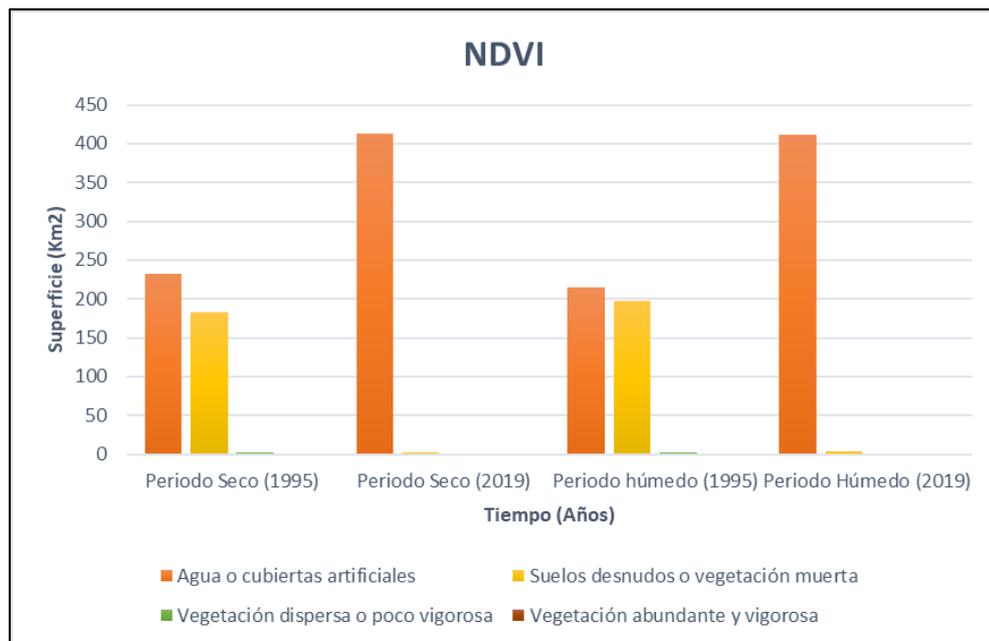


Figura 18
Mapa de reclasificación de NDVI año 1995 (Periodo seco)

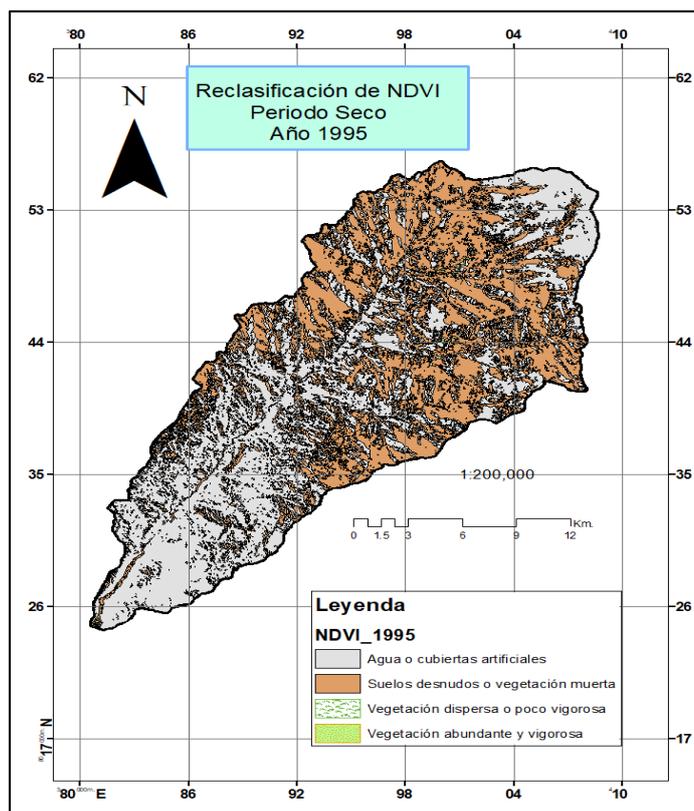


Figura 19
Mapa de reclasificación de NDVI año 2019 (Periodo seco)

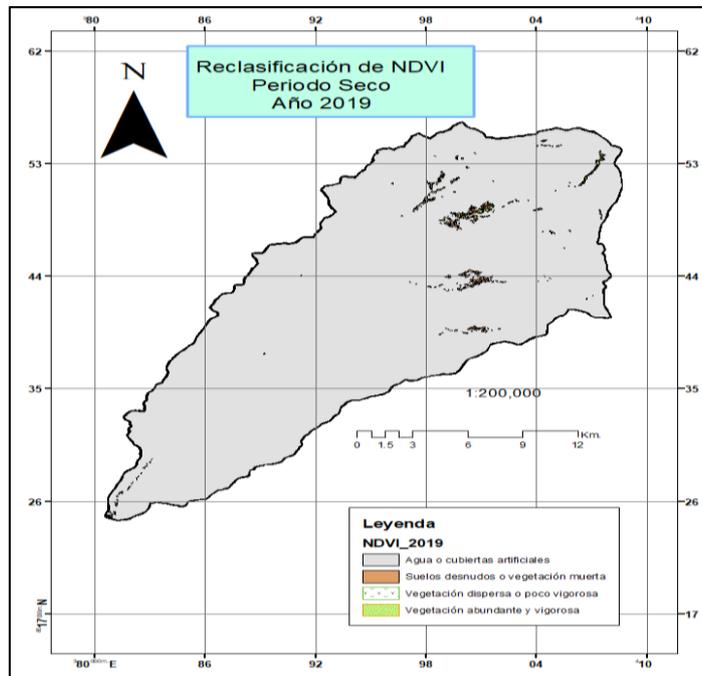


Figura 20
Mapa de reclasificación de NDVI año 1995 (Periodo húmedo)

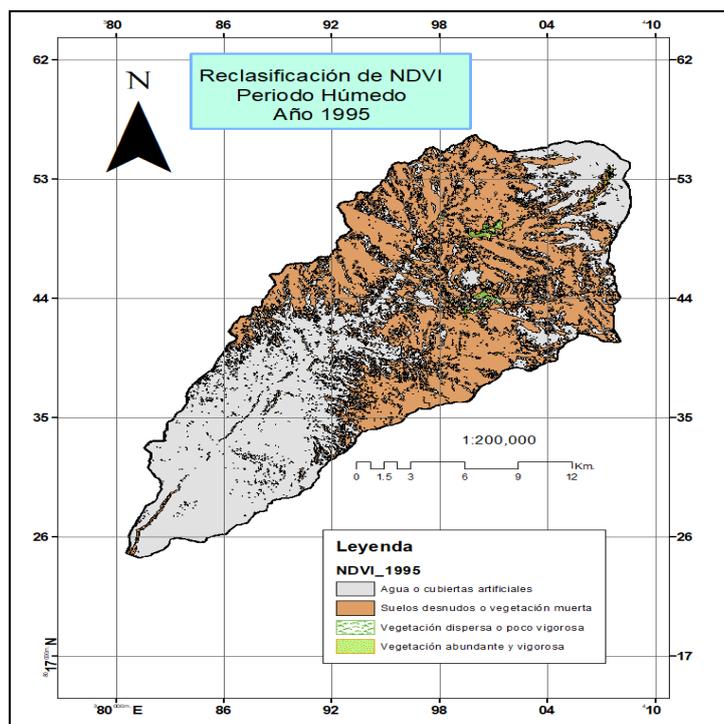


Figura 21
Mapa de reclasificación de NDVI año 2019 (Periodo húmedo)

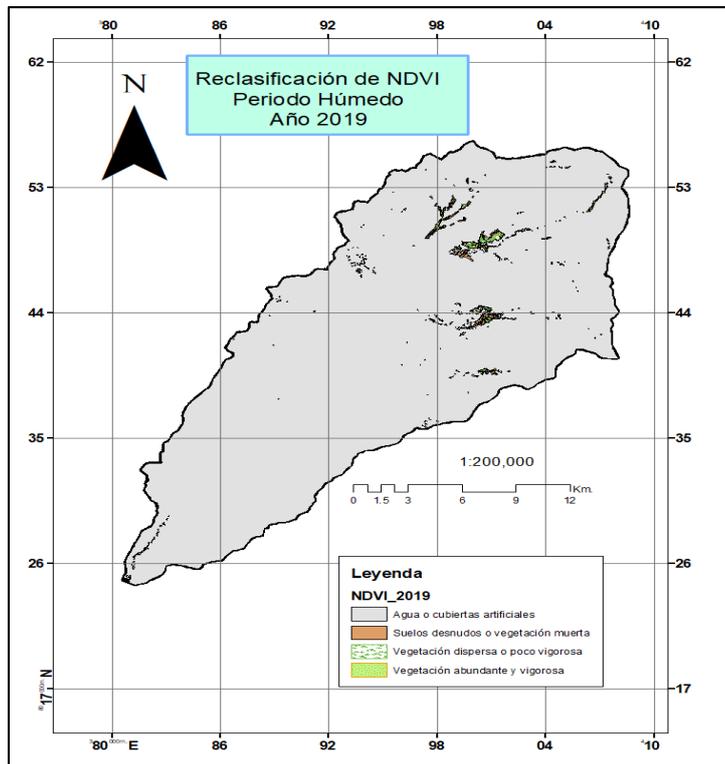


Figura 22
Clasificación de vegetación abundante y vigorosa (Periodo húmedo_2019)

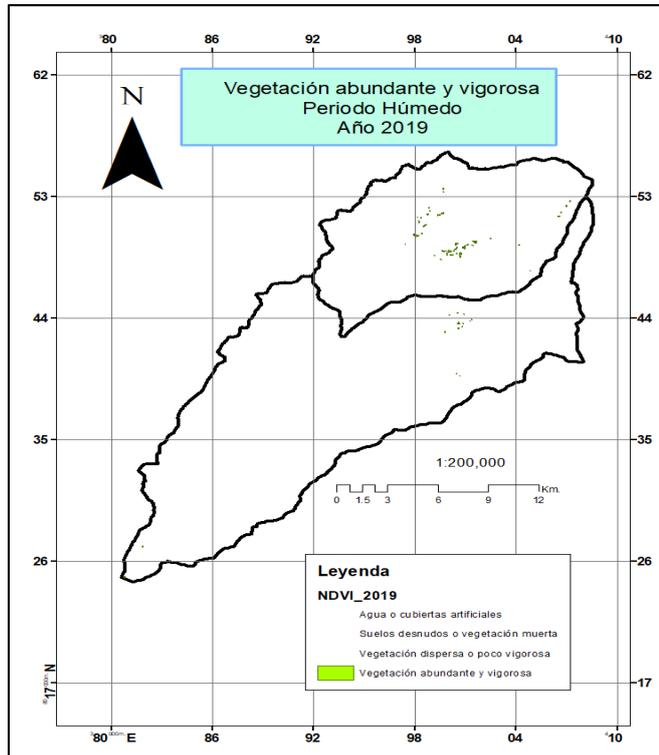


Figura 23
Clasificación de vegetación dispersa o poca vigorosa (Periodo húmedo_2019)

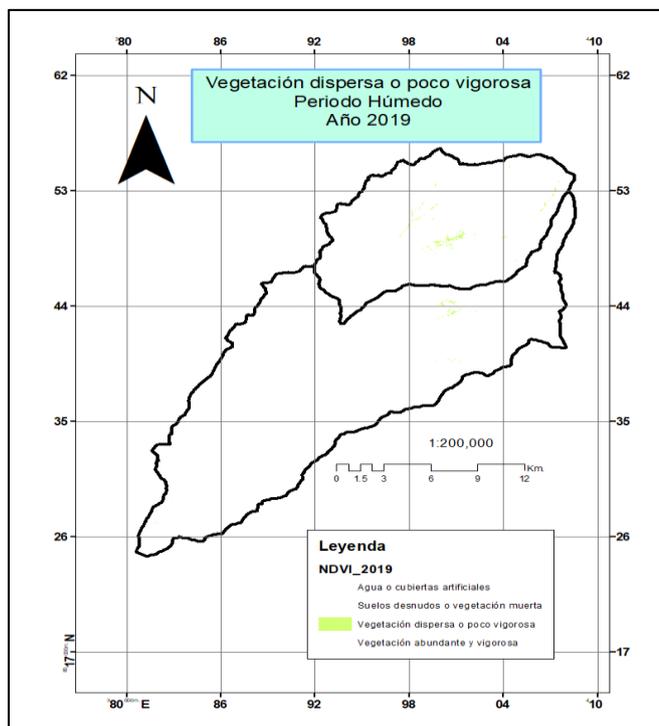


Figura 24
Clasificación Suelos desnudos o vegetación muerta (Periodo húmedo_2019)

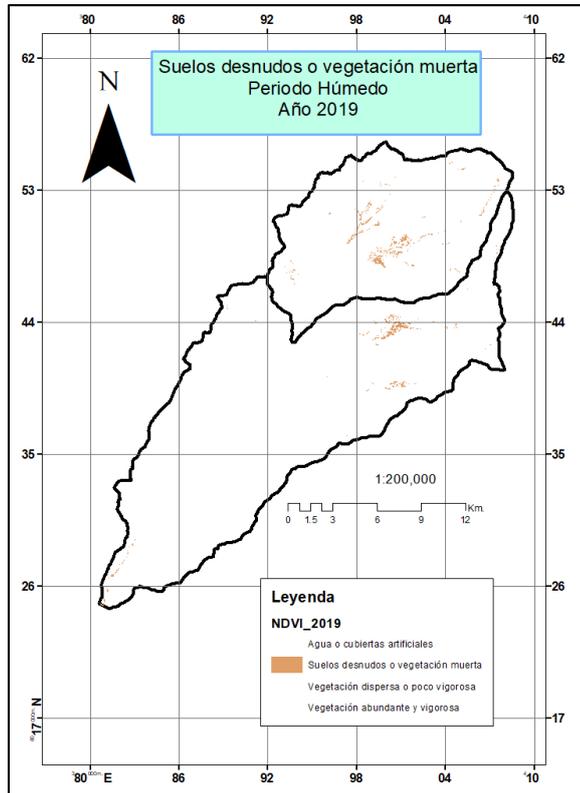
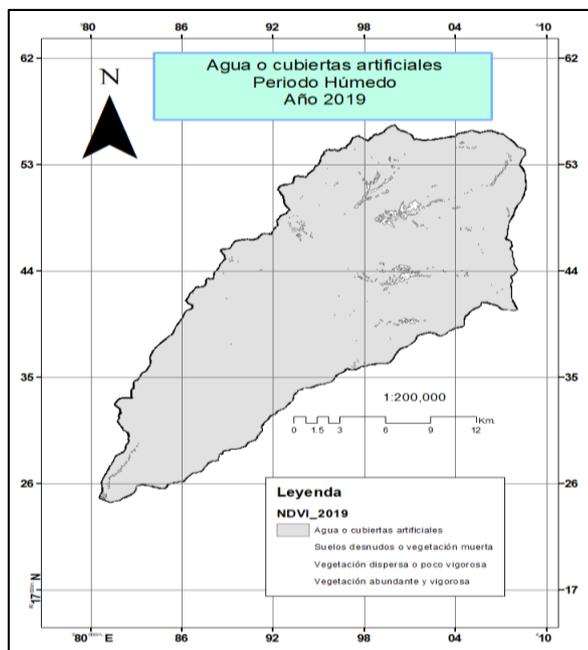


Figura 25
Agua o cubiertas artificiales (Periodo húmedo_2019)

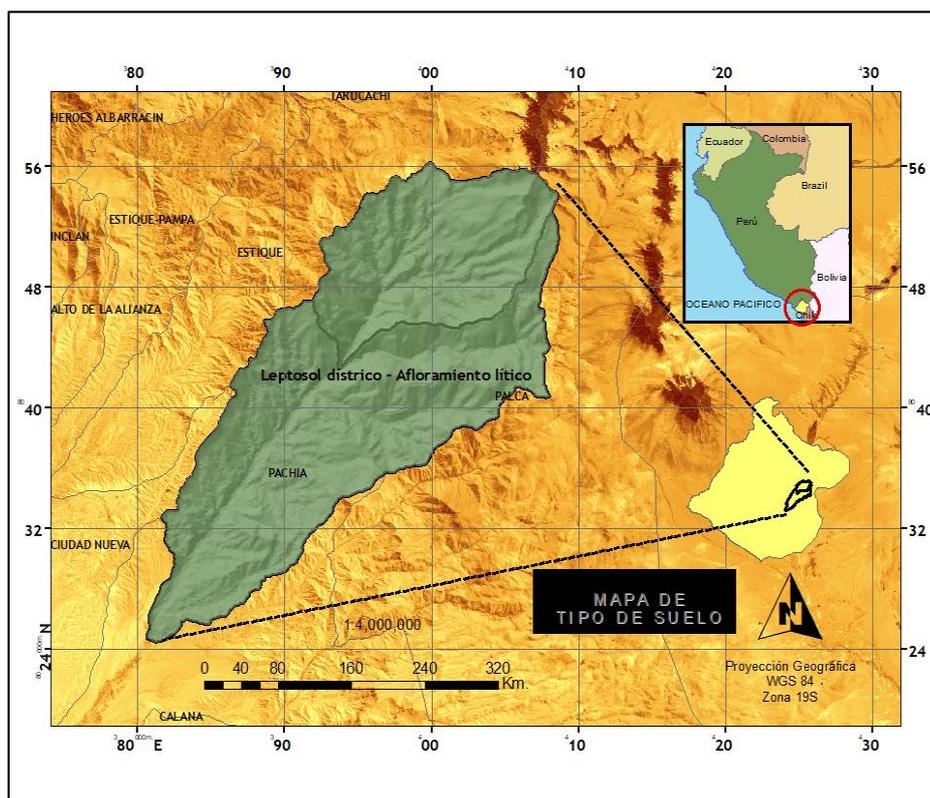


4.3. Determinación de Número de Curva (CN)

El tipo de suelo de la zona de estudio corresponde a Leptosol distrito – Afloramiento lítico, sabemos que Leptosol proviene del griego leptos que significa delgado, refiriéndose a materiales no consolidados o sueltos. Los suelos Leptosol distrito, tienen una saturación menor a 50% que sobreyace sobre un afloramiento lítico esto quiere decir de dureza coherente o compacta, con menos de 10% de fracturas.

Figura 26

Mapa de suelo de la zona de estudio



La tabla de atributo del shapefile se agrega el campo de tipo de suelo insertando la codificación tomada de la tabla 6.

Figura 27

Tabla de atributos de suelos

suelos2					
FID	Shape *	SIMSUE	DESCRIPCIO	Tipo_suelo	
0	Polygon	LPd-R	Leptosol distrito - Afloramiento lítico	B	

En el shp de NDVI también se insertó un campo de Landuse, que es el código de Reclasificación de la cobertura y uso, propuesto en la tabla 4.

Figura 28
Tabla de atributos de NDVI

NDVI_2019						
FID	Shape	ID	GRIDCODE	area	Landuse	
106	Polygon	107	1	0.000616		1
107	Polygon	108	1	0.002963		1
218	Polygon	219	1	0.000616		1
244	Polygon	245	1	0.000616		1
251	Polygon	252	1	0.000616		1
258	Polygon	259	1	0.000616		1
271	Polygon	272	1	0.001229		1
309	Polygon	310	1	0.000616		1
326	Polygon	327	1	0.000576		1

Con la herramienta Intersect unimos las dos tablas de atributos (suelos y NDVI), para proceder a determinar el Número de Curva, pero antes se debe agregar campo para agregar el grupo hidrológico, según lo indicado en la tabla 5.

Figura 29
Tabla de atributos de suelos y NDVI

FID	Shape	SIMSUE	DESCRIPCIO	Landuse	Tipo_suelo	SoilCode	Pcta	Pctb	Pctc	Pctd
0	Polygon	LPd-R	Leptosol districo - Afloramiento litico	1	B	B	0	100	0	0
1	Polygon	LPd-R	Leptosol districo - Afloramiento litico	1	B	B	0	100	0	0
2	Polygon	LPd-R	Leptosol districo - Afloramiento litico	1	B	B	0	100	0	0
3	Polygon	LPd-R	Leptosol districo - Afloramiento litico	1	B	B	0	100	0	0
4	Polygon	LPd-R	Leptosol districo - Afloramiento litico	1	B	B	0	100	0	0

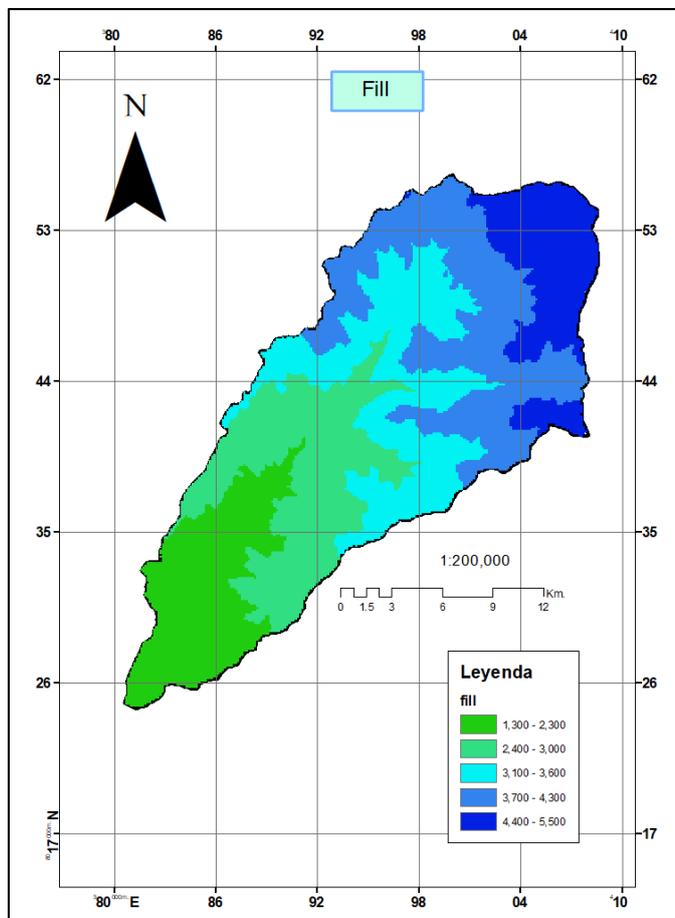
Se genero la tabla para la clasificación de cobertura vegetal en función al grupo hidrológico.

Figura 30
Tabla de atributos de CNLookUp

CNLookUp								
OID	Field1	LUvalue	Descriptio	A	B	C	D	
0	0	1	Water	100	100	100	100	
1	0	2	Medium residential	57	72	81	86	
2	0	3	Forest	30	58	71	78	
3	0	4	Agricultural	67	77	83	87	

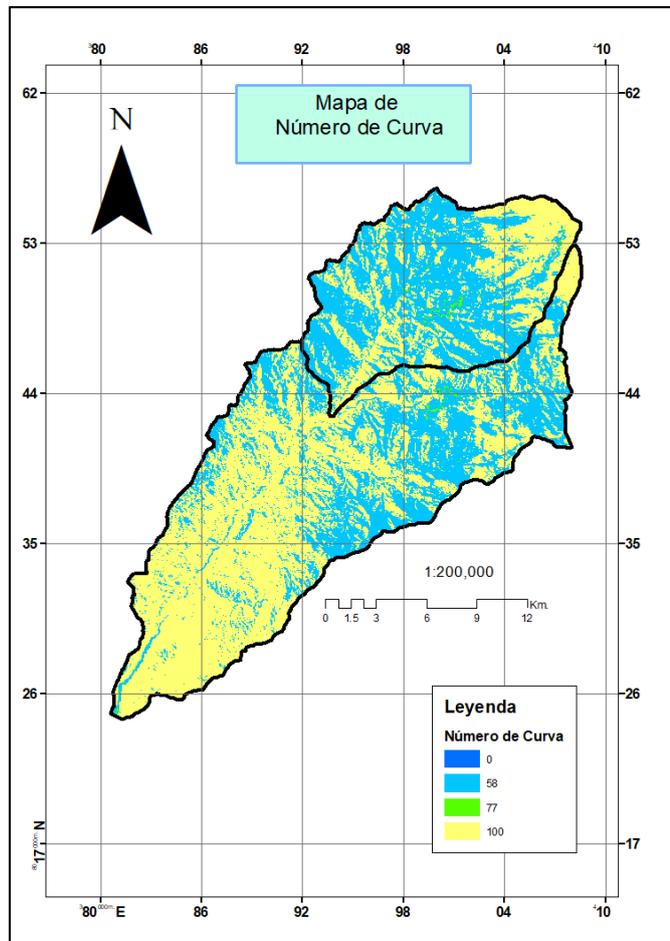
El raster de Fill nos indica que se tiene alturas de 5500 hasta 1300 msnm.

Figura 31
Mapa de Fill



Finalmente se procesó el Mapa de Número de Curva, como se muestra en la siguiente figura, se tiene valores de 0 hasta 100, lo cual nos indica las condiciones de permeabilidad y por ende la capacidad de generar escorrentía superficial. Podemos decir entonces que en condiciones de permeabilidad muy alta los valores se acercan a cero, mientras que en un suelo impermeable los valores se acercan a 100.

Figura 32
Mapa de Número de Curva



Relacionando la cobertura vegetal (NDVI), con el Número de Curva podemos decir

- Aguas o cubiertas artificiales (-1 – 0), corresponde el valor de Número de Curva de 100, al ser un suelo impermeable la escorrentía superficial es alta lo que en hidrología se denomina escorrentía directa, con una superficie de 412.91 Km² y 234.04 Km², para los años 2019 y 1995 respectivamente.
- Suelos desnudos o vegetación muerta (0 – 0.2), corresponde el valor de Número de Curva de 77, se puede tener infiltración, pero esta es mínima la escorrentía es alta, se tiene una superficie de 0.52 y 1.52 Km², para los años 2019 y 1995 respectivamente.

- Vegetación dispersa o poco vigorosa (0.2 – 0.4), corresponde el valor de 58, al tener presencia de vegetación se puede dar el proceso de evapotranspiración, pero la infiltración es mínima, se tiene valores de 2.67 y 183.34 Km², para los años 2019 y 1995 respectivamente.
- Vegetación abundante y vigorosa (0.4 – 0.6), corresponde el valor de 0, al tener presencia de vegetación se puede dar el proceso de evapotranspiración, existe infiltración y retención, la escorrentía superficial disminuye se tiene valores de 0.11 y 0.08 Km², para los años 2019 y 1995 respectivamente.

Tabla 15
Relación de NDVI y CN

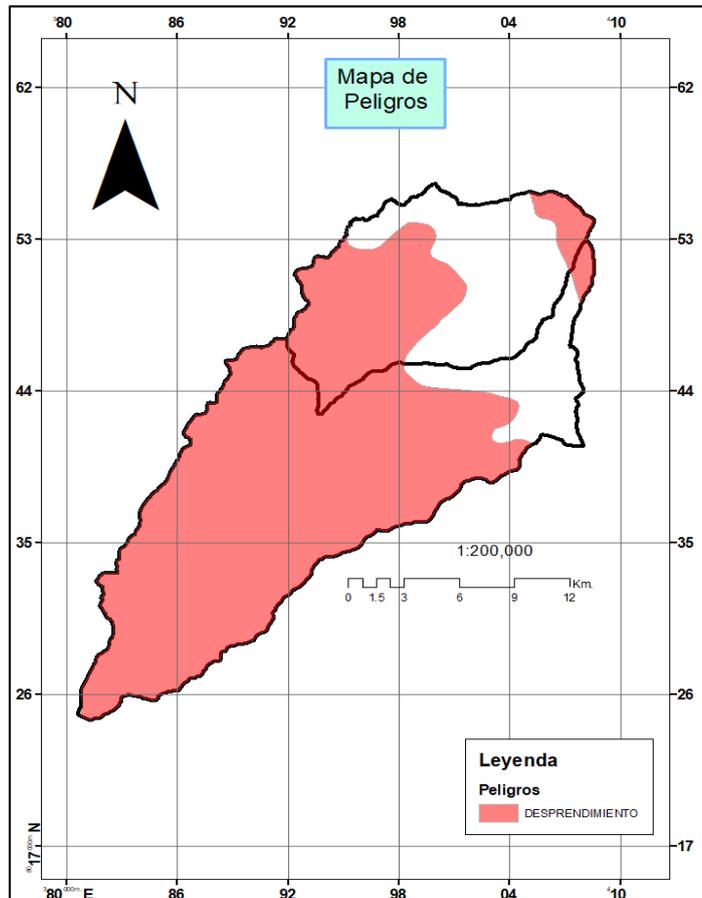
NDVI	Descripción	CN	Área (Km ²)	
			2019	1995
-1 - 0	Agua o cubiertas artificiales	100	412.91	234.04
0 – 0.2	Suelos desnudos o vegetación muerta	77	0.52	1.52
0.2 – 0.4	Vegetación dispersa o poco vigorosa	58	2.67	183.34
0.4 – 0.6	Vegetación abundante y vigorosa	0	0.11	0.08
0.6 - 1	Vegetación muy densa y vigorosa	-	-	-

4.4. Relación de Zonas de riesgo ambiental y CN

En la zona de estudio utilizando la información de Ordenamiento Territorial del ZEE del gobierno regional de Tacna, se puede determinar que en la zona de estudio el peligro corresponde a desprendimientos, los cuales suelen darse por dos factores altas pendientes y suelos no consolidados. Como se puede apreciar en la zona de estudio más del 50% de la superficie se ve afectado por este tipo de peligro como se visualiza en la siguiente figura.

Como ya se mencionó los suelos que predominan en la zona de estudio corresponde a material no consolidado y en cuanto a la pendiente mayores a 45°.

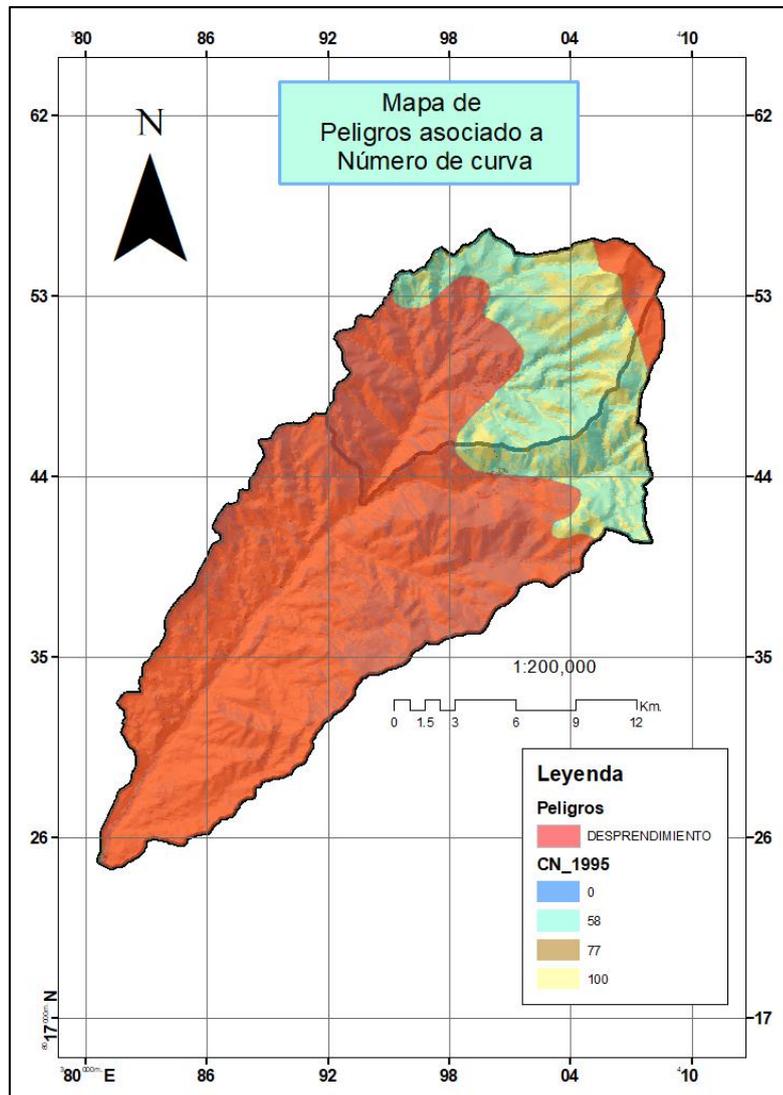
Figura 33
Mapa de peligro



Superponiendo el mapa de Número de Curva podemos apreciar que en los valores cercanos a 0, lo cual corresponde a suelos permeables el desprendimiento no existe, pero todo lo contrario se da en zonas donde el Número de curva se acerca a 100, por ser suelos impermeables y no consolidados la exposición al peligro por desprendimiento es alto.

Con esto podemos decir que la metodología propuesta en la presente investigación se acerca a valores asociados a los de campo.

Figura 34
Mapa de peligro asociado al Número de Curva



CAPÍTULO V

DISCUSIÓN

1. En cuanto al primer objetivo planteado en la investigación: Generación de un algoritmo para determinar el Número de Curva en la Microcuenca Caplina Tacna, haciendo uso de Sistema de Información Geográfico.

Lavao y Corredor (2014), presentaron su informe de tesis titulado “Aplicación de la teoría del Número de Curva (CN) a una Cuenca de Montaña. Caso de estudio: Cuenca del río Murca, mediante la utilización de un Sistema de Información Geográfico”, tiene como objetivo principal proponer una aplicación de la teoría de la Curva Número en la cuenca del río Murca, para la obtención de la oferta hídrica en el río Murca la cual es una subcuenca del río Negro, el concluye en que una de las variables más importantes como lo es la cobertura terrestre fue identificado mediante imágenes Landsat con la utilización de sistemas de información geográfica, esta metodología es mucho más rápida y económica. También indica que es importante mencionar que la utilización de sistemas de información geográfica para la identificación del valor del Número de Curva es un proceso rápido, especialmente si se tiene en cuenta que cada vez y a medida que avanza la tecnología la información es más fácil de adquirir.

En nuestra investigación se pudo determinar el mapa de Número de Curva, haciendo uso del Sistema de Información Geográfico, se generó el algoritmo primero haciendo uso de imágenes Landsat y luego el uso de herramientas que simplificaron el trabajo, como el uso de la extensión Hec-GeoHMS.

2. En el objetivo específico planteado: Determinación de los parámetros geomorfológicos de la microcuenca Caplina – Tacna

Argente (2014), en su informe de tesis titulado “Estudio de comportamiento hídrico de una cuenca hidrológica en Angola”, principal

objetivo de este trabajo está centrado en la modelización hidrológica y comportamiento erosivo de una pequeña cuenca frente a las escorrentías generadas por la precipitación pluvial de una zona situada en el corazón del país de Angola. el concluye indicando que mediante la realización de este proyecto se ha podido establecer los parámetros hídricos y geomorfológicos de una pequeña cuenca hidrológica cercana al Centro de Estudios Agronómicos de Chianga, obteniéndose parámetros útiles para el estudio de los cultivos experimentales allí situados. A su vez, se deja abierta la puerta a profundizar sobre este estudio para obtener otros parámetros hidrológicos como la ecuación universal de pérdidas del suelo (USLE) que no se han podido desarrollar por carecer de datos experimentales de campo.

En nuestro estudio se pudo determinar los parametros geomorfológicos de la microcuenca, los cuales sirven como analisis para determinar las propiedades físicas y características relacionadas con la distribución hidrica de la cuenca.

3. Determinación de la relación entre la cobertura vegetal y uso de suelo con el Número de Curva.

De acuerdo con la investigación realizada por Yupanqui (2016), denominada "Obtención del Número de Curva a partir de registro de imágenes satelitales mediante la percepción remota", el cual tiene como objetivo principal determinar el número de curva en cuencas hidrográficas a partir de registros obtenidos mediante percepción remota, en la conclusión final indica que el índice de vegetación en general varía desde -1 hasta 1, para la cuenca analizada y debido tipo de cobertura de usos de suelo existentes varía desde -0.214 hasta 0.4002, que corresponde a usos del suelo del tipo: agua o cubiertas artificiales -en un porcentaje ascendente a 4.32% de la superficie de la cuenca, suelo desnudo o vegetación muerta (25% de la superficie total de la cuenca), vegetación dispersa o poco vigorosa (68% de la superficie total de la cuenca) y vegetación Abundante y vigorosa (2% de la superficie total de la cuenca).

- Para la investigación realizada se determinó que parte de la metodología para determinar el Número de Curva es determinar la cobertura vegetal (haciendo uso de imágenes satelitales para generar el NDVI), y el uso de suelos, se utilizó la clasificación de cobertura de suelo logrando encontrar los siguientes valores para la clasificación de Aguas o cubiertas artificiales (-1 – 0), se encontró una superficie de 412.91 Km² y 234.04 Km², para los años 2019 y 1995 respectivamente. En cuanto a Suelos desnudos o vegetación muerta (0 – 0.2), corresponde el valor de Número de Curva de 77, se tiene una superficie de 0.52 y 1.52 Km², para los años 2019 y 1995 respectivamente. Para Vegetación dispersa o poco vigorosa (0.2 – 0.4), corresponde el valor de 58, se tiene valores de 2.67 y 183.34 Km², para los años 2019 y 1995 respectivamente. Y finalmente para Vegetación abundante y vigorosa (0.4 – 0.6), corresponde el valor de 0, con una superficie de 0.11 y 0.08 Km², para los años 2019 y 1995 respectivamente.
4. Elaboración de un mapa temático de CN en la Cuenca Caplina - Tacna, e indicar posibles zonas de riesgo ambiental

Sotelo (2019), en su tesis denominada “Análisis de vulnerabilidad de riesgo por cambio climático en la cuenca Caplina – Tacna”, tiene como objetivo principal fue realizar un análisis de vulnerabilidad de riesgo del cambio climático en la Cuenca Caplina – Tacna, concluye indicando que las áreas Vulnerables de la Cuenca, están representadas por los distritos a los que afectan en este caso son; por Vulnerabilidad Social en donde Tacna, Pachia posee vulnerabilidad alta en cuanto a la Vulnerabilidad Económica, Pachia y la Vulnerabilidad Ambiental en Pachia.

La zona de estudio se ubica en el distrito de Pachia y se ha logrado determinar que el peligro está asociado a desprendimiento .

CONCLUSIONES

- Se determinó los parámetros geomorfológicos de la microcuenca caplina el área de estudio es pequeña – intermedia, que su perímetro corresponde a cuencas rodeando el desagüe, nos indica que su forma de la cuenca es rectangular, es una cuenca con un sistema de drenaje bien desarrollado y con condiciones de infiltración adecuados, así como una capacidad de retención mayor.
- En el NDVI podemos decir que en la microcuenca del río Caplina lo que predomina son áreas de cubiertas artificial las cuales han ido incrementando en el tiempo y en el caso de vegetación se ha visto una perdida, haciendo el análisis de la cobertura vegetal.
- En el Mapa de Número de Curva, se tiene valores de 0 hasta 100, lo cual nos indica las condiciones de permeabilidad y por ende la capacidad de generar escorrentía superficial.
- Se determinó la relación entre la cobertura vegetal y uso de suelo con el Número de Curva es: Aguas o cubiertas artificiales (-1 – 0), corresponde el valor de Número de Curva de 100, al ser un suelo impermeable la escorrentía superficial es alta lo que en hidrología se denomina escorrentía directa, suelos desnudos o vegetación muerta (0 – 0.2), corresponde el valor de Número de Curva de 77, se puede tener infiltración, pero esta es mínima la escorrentía es alta, vegetación dispersa o poco vigorosa (0.2 – 0.4), corresponde el valor de 58, al tener presencia de vegetación se puede dar el proceso de evapotranspiración, pero la infiltración es mínima, vegetación abundante y vigorosa (0.4 – 0.6), corresponde el valor de 0, al tener presencia de vegetación se puede dar el proceso de evapotranspiración, existe infiltración y retención, la escorrentía superficial disminuye.
- Se obtuvo como promedio del número de curva el valor de 58 que corresponde al NDVI de vegetación dispersa o poco vigorosa (0.2 – 0.4), que al tener presencia de vegetación se puede dar el proceso de evapotranspiración, pero la infiltración es mínima.
- Se determinó que en la zona de estudio el peligro corresponde a desprendimientos, los cuales suelen darse por dos factores altas pendientes

y suelos no consolidados. Como se puede apreciar en la zona de estudio más del 50% de la superficie se ve afectado por este tipo de peligro.

- Esta investigación se desarrolla a base de la cobertura vegetal, fue calculada mediante imágenes Landsat 5 TM y 7 ETM+ con la utilización de SIG, el valor del CN es un proceso rápido y económico teniendo en cuenta que cada que evoluciona la tecnología la información es más fácil de obtener.
- El NDVI de las imágenes Landsat 5 TM y 7 ETM+ procesadas en la investigación, permitieron determinar, calcular y visualizar la intensidad vegetal de las coberturas vegetales presentes en la zona de investigación por los el NDVI y observar si tienen diferencias para cada cobertura vegetal.
- En Tacna realizando esta investigación podemos ver que hay disponibles tipos de información y gratuita por internet para poder acceder y aplicar esta técnica y ser empleada en otras cuencas del departamento.
- Se puede realizar y aprovechar la capacidad de los otros sensores y obtener información del departamento ya que podrían obtener información actualizada y de mejor calidad y poder utilizarla y evitar más desastres naturales.
- En Tacna no contamos con un ordenamiento territorial actualizado lo que traen daños a la comunidad este método de la curva de número se puede utilizar para obtener antecedentes de las zonas y prevenir los desastres naturales.

RECOMENDACIONES

- Se debe crear carpetas de los datos descargados de la información para ser guardadas en orden, ser registrada y rotulada para que no exista error en los datos al momento de procesarla ya que esto sería perjudicial al momento de los resultados.
- Debemos tener conocimiento de los datos obtenidos en el procesamiento de las imágenes satelitales, ya que al conocer los datos podemos interpretar y analizar mejor los resultados. Al momento de utilizar las imágenes satelitales debemos observar y descargar las imágenes con menos nubosidad en el área de estudio.
- La información obtenida debe ser renovada cada año para observar los cambios en las diferentes coberturas para hacer proyecciones sobre el futuro en la Microcuenca del Caplina – Tacna.
- En Tacna las entidades públicas locales y regionales deberían hacer proyectos elaboración de mapas de cobertura y aumentar los antecedentes para ser utilizadas en la planificación y ordenamiento territorial para diferentes clases de desarrollo que generarían bienestar en la comunidad.
- Para futuras investigaciones se recomienda laborar con imágenes de mayor calidad permitiendo un análisis más exacto de la cobertura vegetal y determinar el uso de la tierra.

BIBLIOGRAFIA

Almánzar , R., & Pascual, J. (2011). “Análisis de sucesos productores de caudal en pequeñas cuencas mediterráneas como apoyo a la gestión integrada y sostenible del agua”. España: Talavera de la Reina.

- [1]. Argente Sanz, J. C. (2014). *Estudio del comportamiento hídrico de una cuenca hidrológica en Angola*. Universidad Politécnica de Valencia.
- [2]. Artica, M. (2010). Conservación de suelos. *AGRORURAL*,.
- [3]. BIODAMAZ, P. D. (2004). *Manual para la elaboración de mosaicos de imágenes de satélite Landsat TM para selva baja peruana*. Iquitos, Peru.
- [4]. Chow, V. T., Maidment, D. R., & Mays, L. (1994). *Hidrología Aplicada*. Colombia: McGraw-Hill.
- [5]. Chuvieco, E. (1995). *Fundamentos de Teledetección Espacial. 2 ed. Ediciones . RIALP*.
- [6]. ESRI. (2008). *ArcGis Help 9.2*. (Environmental Systems Research Institute) .
- [7]. Gaspari, F. (2002). *Plan de ordenamiento territorial en cuencas serranas degradadas. Aplicación de sistemas de información geográfica. Huelva. España*. Buenos Aires: Ediciones cooperativas.
- [8]. Gaspari, F. J., Rodríguez Vagaría, A. M., Senisterra, G. E., Delgado, M. I., & Besteiro, S. I. (2009). *Manual de Manejo Integral de Cuencas Hidrográficas*. La Plata, Argentina: Autores.
- [9]. Gaspari, F. J., Rodríguez Vagaría, A. M., Senisterra, G. E., Delgado, M. I., & Besteiro, S. I. (2013). *Elementos metodológicos para el manejo de cuencas hidrográficas*. Buenos Aires, Argentina: Edulp integra la Red de Editoriales Universitarias Nacionales (REUN).
- [10]. Hasan, J. (2013). *Jardines Verticales*. Taiwan.

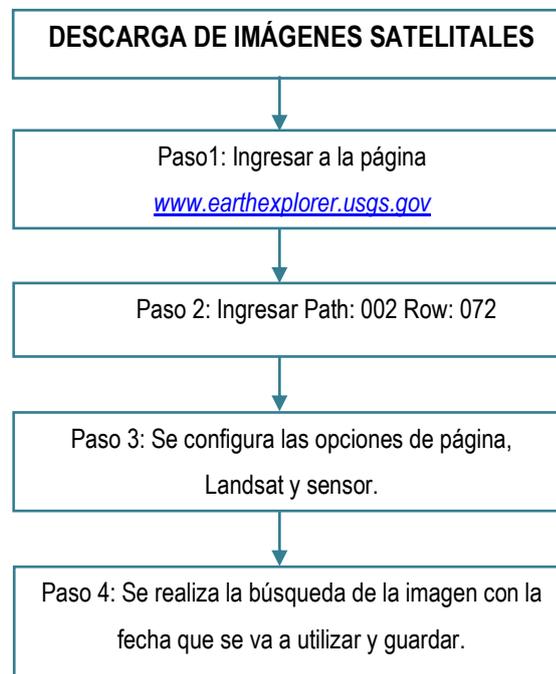
- [11]. Henao Sarmiento, J. (1988). *Introducción al Manejo de Cuencas Hidrográficas*. Bogotá, Colombia: Centro de enseñanza desescolarizada. Universidad Santo Tomás.
- [12]. INEGI, I. (2016). *Modelo Digital de Elevación (MDE)*. Ciudad de México, MX.
- [13]. INSTITUT CARTOGRÀFIC DE CATALUNYA. (1992). *Mapa d'usos del sòl de Catalunya*. Barcelona: Direcció General de Planificació i Acció Territorial, Departament de Política Territorial i Obres Públiques, p. 25-39. España.
- [14]. Lavao Pastrana, S. A., & Corredor Rivera, J. L. (2014). *Aplicación de la teoría del Número de Curva (CN) a una Cuenca de Montaña. Caso de estudio: Cuenca del río Murca, mediante la utilización de un Sistema de Información Geográfico*. Bogotá: Universidad Militar Nueva Granada .
- [15]. Meza, C. (2006). *Modelamiento SIG para identificar los cambios del Río Ucayali y su influencia ambiental (Sector Pucallpa)*. Lima.
- [16]. MINAM. (2012). *Mapa Cobertura Vegetal del Perú - Memoria descriptiva*.
- [17]. MINAM. (2014). *Protocolo: Análisis de las dinámicas de cambio de cobertura de la tierra en la Comunidad Andina*. Lima, Perú: Ministerio del Ambiente Perú, Dirección General del Ordenamiento Territorial.
- [18]. MINAM. (2015). *Mapa Nacional de Cobertura Vegetal - Memoria descriptiva*. Perú: Ministerio del Ambiente. Dirección General de Evaluación, Valoración y Financiamiento del Patrimonio Natural.
- [19]. Mintegui Aguirre, J., & López Unzué, F. (1990). *La Ordenación Agrohidrológica en la Planificación*. Servicio Central de Publicaciones del Gobierno Vasco.
- [20]. NRCS, N. R. (2009). *National Engineering Handbook, section 4, Hydrology, version (1956, 1964, 1971, 1985, 1993, 2004, 2009)*. USA: Engineering Division. US. Department of Agriculture.

- [21]. Olcina, A. G. (2007). *DIRECTIVA 2007/60/CE SOBRE EVALUACIÓN Y GESTIÓN DE LOS RIESGOS DE INUNDACIÓN*. España: Instituto Interuniversitario de Geografía de la Universidad de Alicante .
- [22]. Oprisescu , S., & Dumitrescu, M. (2005). “*On the regularization of segmented satellite images*”. International Symposium on Signals, Circuits and Systems, vol 1 pp.83-86.
- [23]. Portuguez Maurtua, M., & Verano Zelada, C. (2016). Generación de mapa de número de curva con sistema de información geográfica. *Apuntes de Ciencia & Sociedad*, 91-99.
- [24]. Ruíz , D., & Salcedo, J. (2005). *Análisis comparativo de herramientas Software especializadas para el tratamiento digital de imágenes de Satélite. Caracterización de procesos básicos*. Tesis. Ing. Civil. Bucaramanga, CO, Universidad Nacional de Santander. 183 p.
- [25]. Sánchez, A. (2009). *Análisis multitemporal de la cobertura de la tierra en la cuenca del valle de Jesús de Otoro entre los años 2000 – 2006 aplicando técnicas de teledetección*. . Honduras: Tesis Mag. Sc. Suyapa, HN, Universidad Nacional Autónoma de Honduras. 146 p.
- [26]. SEGERER, C., & VILLODAS, R. (2006). *Universidad Nacional De Cuyo Facultad De Ingeniería Ingeniería Civil Hidrología I - Unidad 5: Las Precipitaciones* .
- [27]. Seingier, G., Espejel, I., & Ferman, J. (2009). Cobertura vegetal y marginación en la costa mexicana. *Instituto Nacional de Ecología SEMARNAT. Investigación ambiental. Ciencia y política pública*, 54-69.
- [28]. Sotelo Sala, F. P. (2019). *Análisis de vulnerabilidad de riesgo por cambio climático en la cuenca Caplina-Tacna*. Tacna: Universidad Privada de Tacna.
- [29]. SRGIS , S. (2009). *Guía básica sobre Imágenes Satelitales y sus productos*. Colombia.

- [30]. Suárez Morillo, A. (2014). *Análisis y comparación de imágenes de diferentes sensores para verificar su eficiencia y utilidad en estudios multitemporales. Tesis Ing. Geógrafo. Sangolquí, EC, Universidad de las Fuerzas Armadas. Ecuador .*
- [31]. USGS. (s.f.). *EarthExplorer*. Obtenido de <https://earthexplorer.usgs.gov>
- [32]. Villon Béjar, M. (2002). *Hidrología*. Lima, Perú: MaxSoft.
- [33]. Ward, R., & Robinson, M. (1990). *Principles of Hydrology*. London: McGraw Hill.

ANEXOS

ANEXO N°1



Paso 1 y 2:

The screenshot displays the USGS EarthExplorer website interface. The top navigation bar includes the USGS logo and the text "science for a changing world". Below the navigation bar, the page title "EarthExplorer" and "Manage Criteria" are visible. The main content area is divided into two sections: "Search Criteria" and "Search Criteria Summary (Show)".

The "Search Criteria" section contains the following elements:

- A heading "1. Enter Search Criteria" followed by instructions: "To narrow your search area, type in an address or place name, enter coordinates or click the map to define your search area (for advanced map tools, view the help documentation), and/or choose a date range."
- A "Geocoder" section with a "KML/Shapefile Upload" button and a "Select a Geocoding Method" dropdown menu set to "Path/Row".
- Buttons for "Point" and "Polygon".
- Input fields for "Type: WRS2", "Path: 002", and "Row: 072", with "Show" and "Clear" buttons.
- A "Polygon" section with "Circle" and "Predefined Area" options.
- Input fields for "Degrees/Minute/Second" and "Decimal".
- A coordinate entry field showing "1. Lat: 17° 20' 51" S, Lon: 069° 54' 23" W" with a red "X" icon.
- Buttons for "Use Map", "Add Coordinates", and "Clear Coordinates".

The "Search Criteria Summary" section shows a satellite map of a region with a blue location pin. The map includes labels for "Arequipa", "Mollatepe", "Mocupeca", "Tarma", "Ayacucho", "Cuzco", "Puno", "Cusco", "Ayacucho", and "Ayacucho".

Paso 3:

EarthExplorer Manage Criteria System Not

Search Criteria | **Data Sets** | Additional Criteria | Results

2. Select Your Data Set(s)
Check the boxes for the data sets you want to search. When done selecting data sets, click the Additional Criteria or Results buttons below. Click the plus sign next to the category name to show a list of data sets.

Use Data Set Prefilter (Why? This?)

Data Set Search:

- Landsat
 - Landsat Collection 2 Level-2
 - Landsat Collection 2 Level-1
 - Landsat Collection 1
 - Landsat Collection 1 Level-3
 - Landsat C1 Analysis Ready Data (ARD)
 - Landsat Collection 1 Level-2 (On-Demand)
 - Landsat Collection 1 Level-1
 - Landsat 8 OLI/TIRS C1 Level-1
 - Landsat 7 ETM+ C1 Level-1
 - Landsat 4-5 TM C1 Level-1
 - Landsat 1-5 MSS C1 Level-1
- Landsat Legacy
 - Global Land Survey
 - GLS LIMA (Antarctica)
 - LIMA Mosaics
 - ETM+ Pan Mosaics (1999-2003)
 - TM Mosaics (1984-1997)
 - ETM+ Pan (1999-2003)
 - ETM+ (1999-2003)

Search Criteria Summary (Show)

The provided maps are not for purchase or for download; it is to be used as a guide for reference and search purposes only.

Paso 4:

EarthExplorer Manage Criteria System Notification (1)

Search Criteria | Data Sets | Additional Criteria | **Results**

4. Search Results
If you selected more than one data set to search, use the dropdown to see the search results for each specific data set.

Show Result Controls

Data Set

Landsat 7 ETM+ C1 Level-1

Displaying 1 - 100 of 454

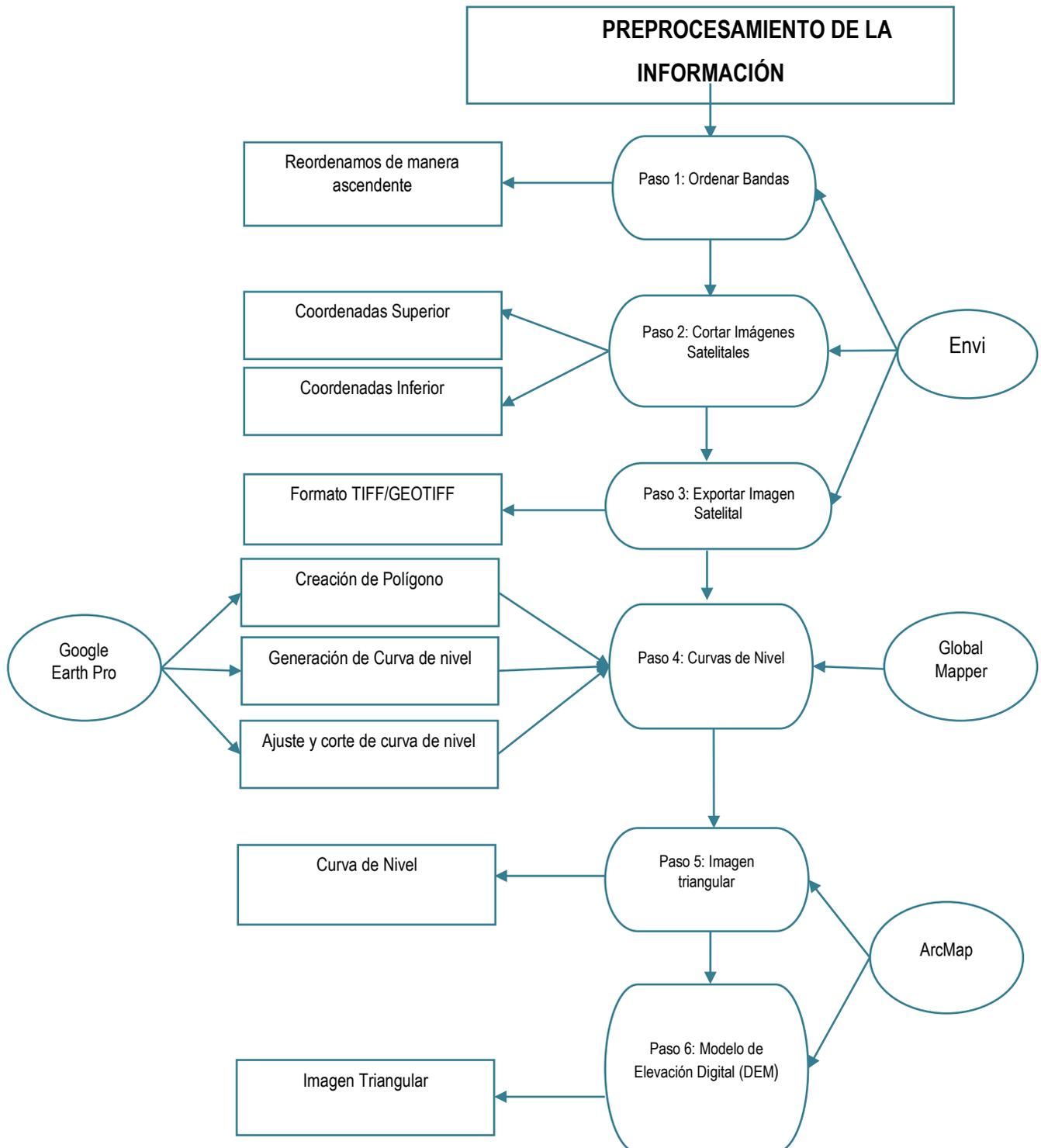
ID	Path	Row	Acquisition Date
ID: LE07_L1TP_002072_20210118_20210118_01_017	Path: 2	Row: 72	2021-01-18
ID: LE07_L1TP_002072_20210102_20210102_01_011	Path: 2	Row: 72	2021-01-02
ID: LE07_L1TP_002072_20201217_20210112_01_11	Path: 2	Row: 72	2020-12-17
ID: LE07_L1TP_002072_20201201_20210227_01_11	Path: 2	Row: 72	2020-12-01

Download Options

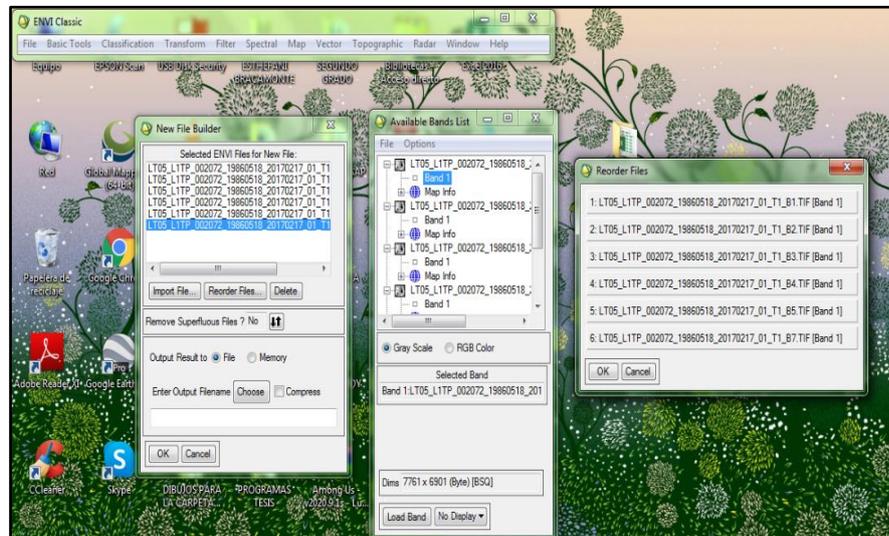
- LandsatLook Natural Color Image (12.93 MB)
- LandsatLook Thermal Image (11.51 MB)
- LandsatLook Quality Image (4.48 MB)
- LandsatLook Images with Geographic Reference (28.93 MB)
- Level-1 GeoTIFF Data Product (269.97 MB)

The provided maps are not for purchase or for download; it is to be used as a guide for reference and search purposes only.

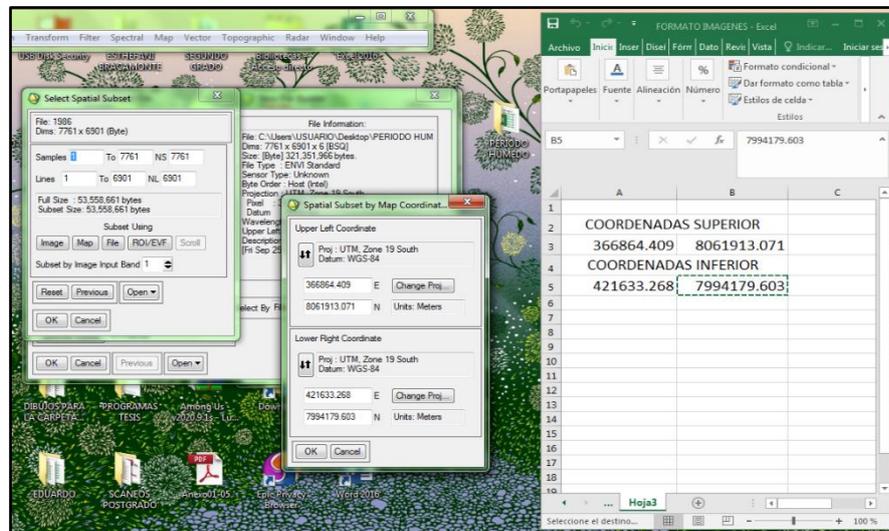
ANEXO N°2



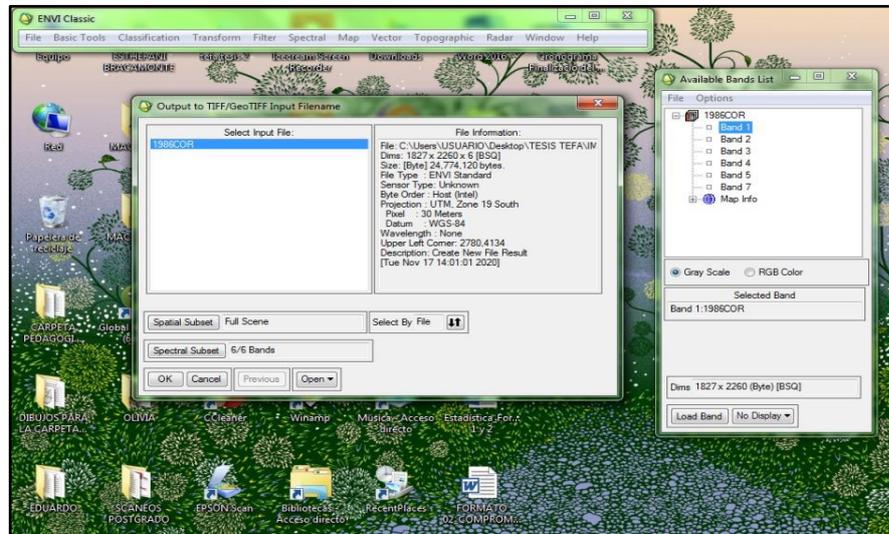
Paso 1:



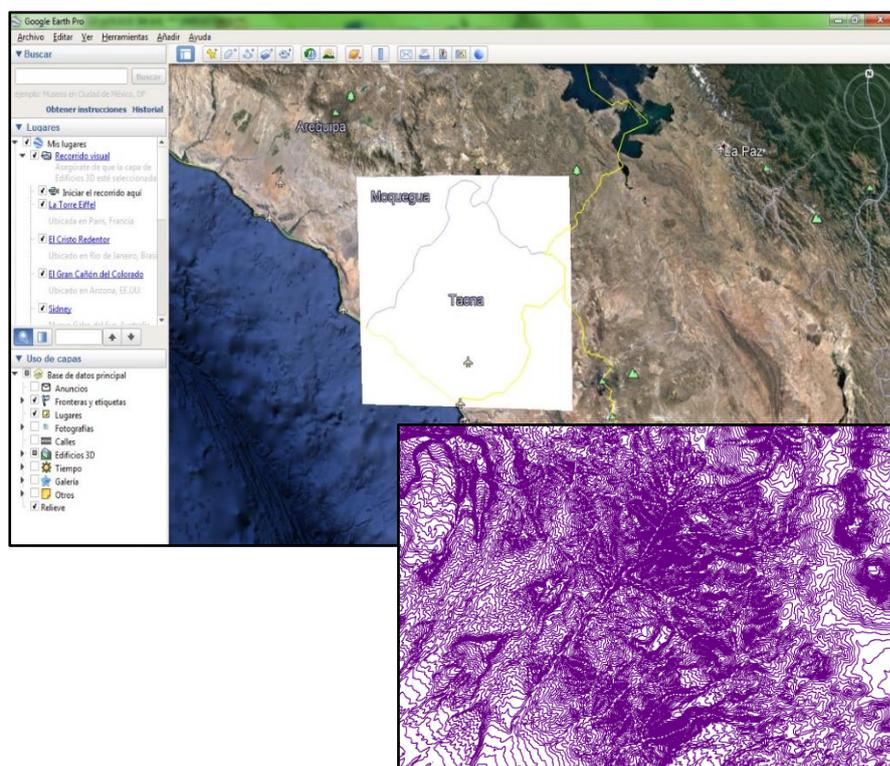
Paso 2:



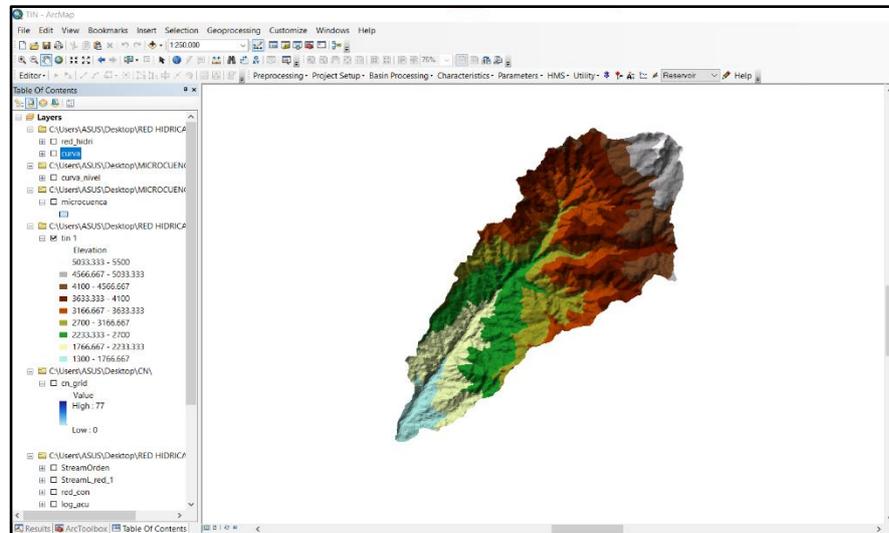
Paso 3:



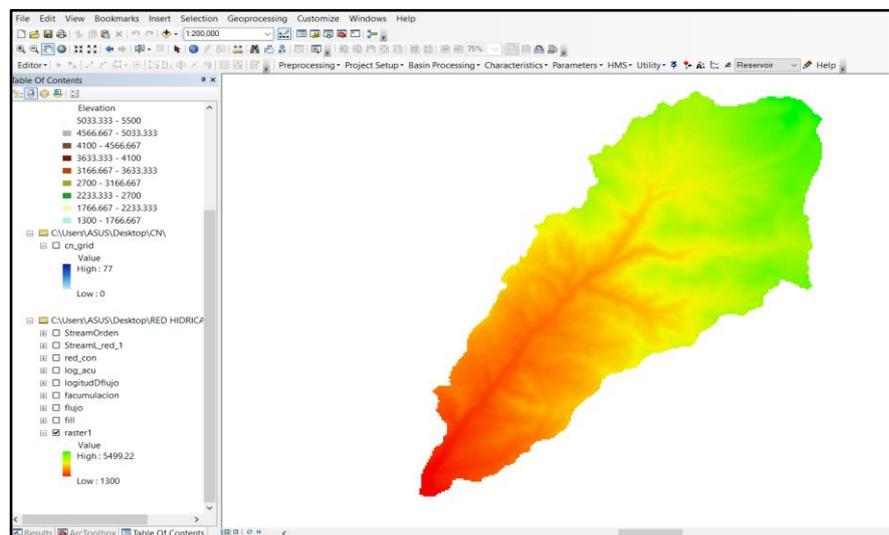
Paso 4:



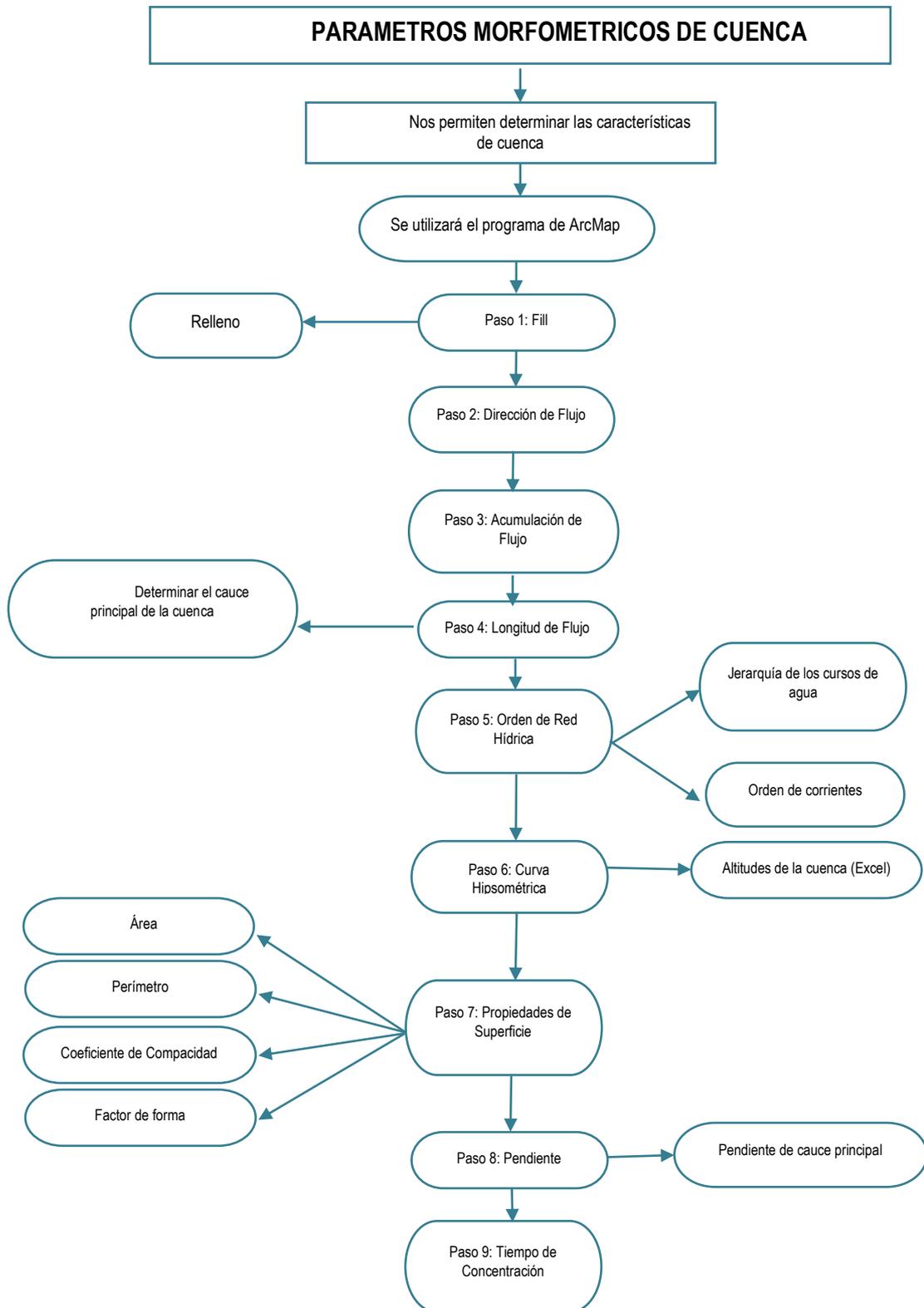
Paso 5:



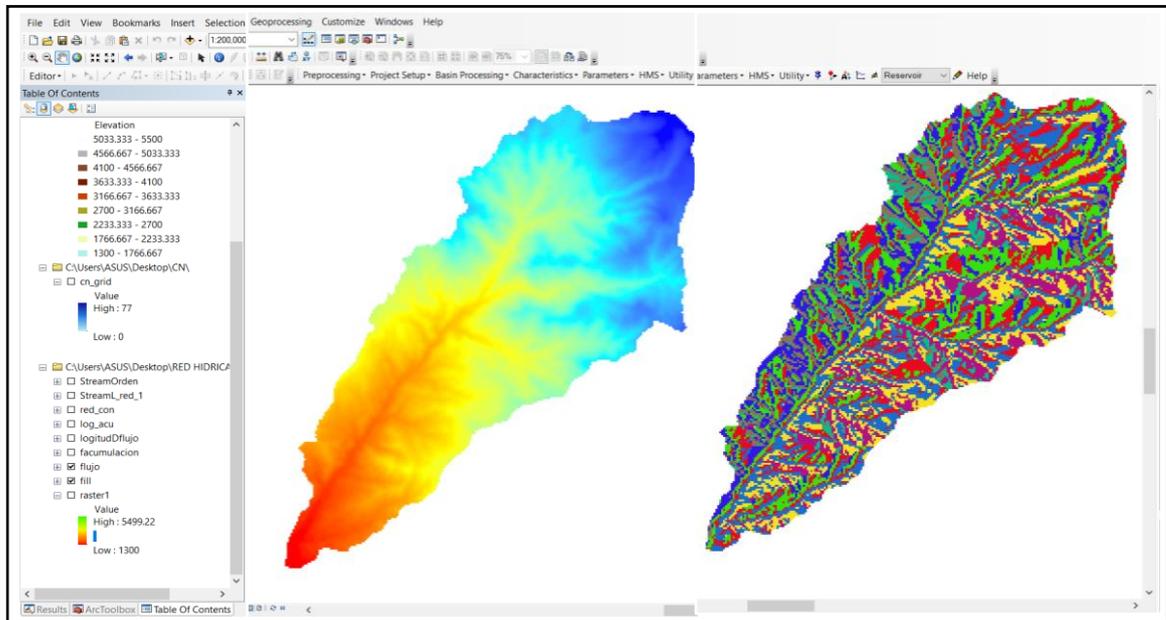
Paso 6:



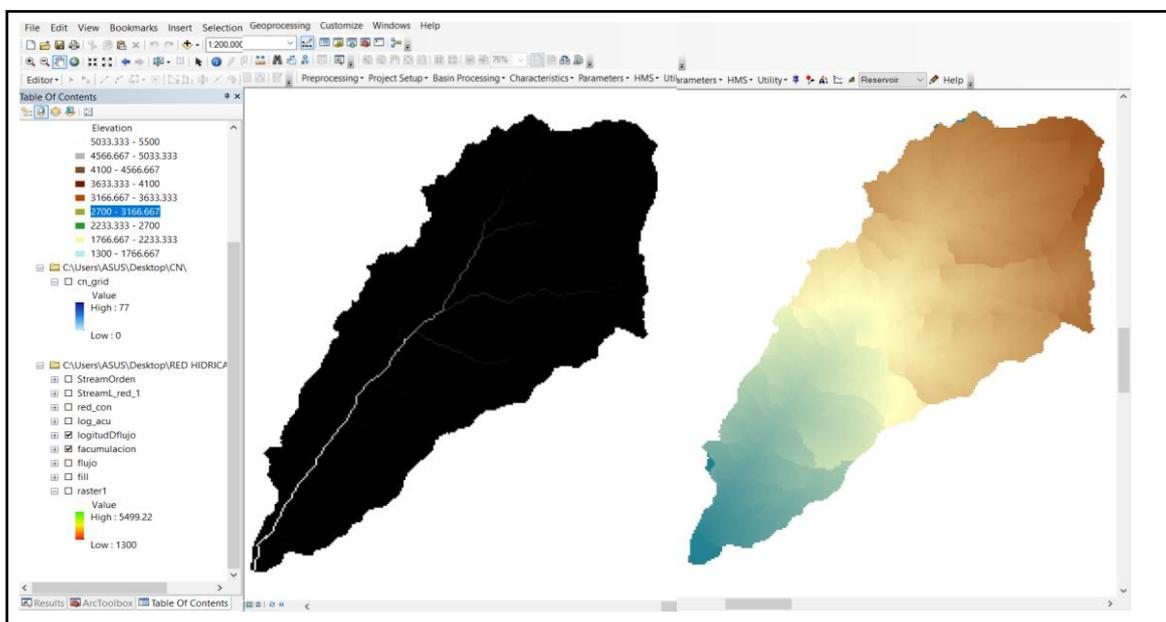
ANEXO N°3



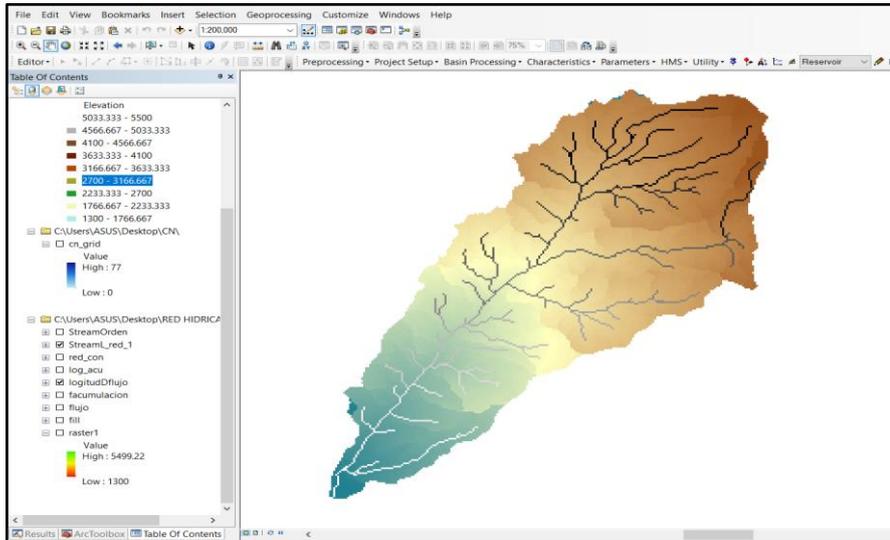
Paso 1 y 2:



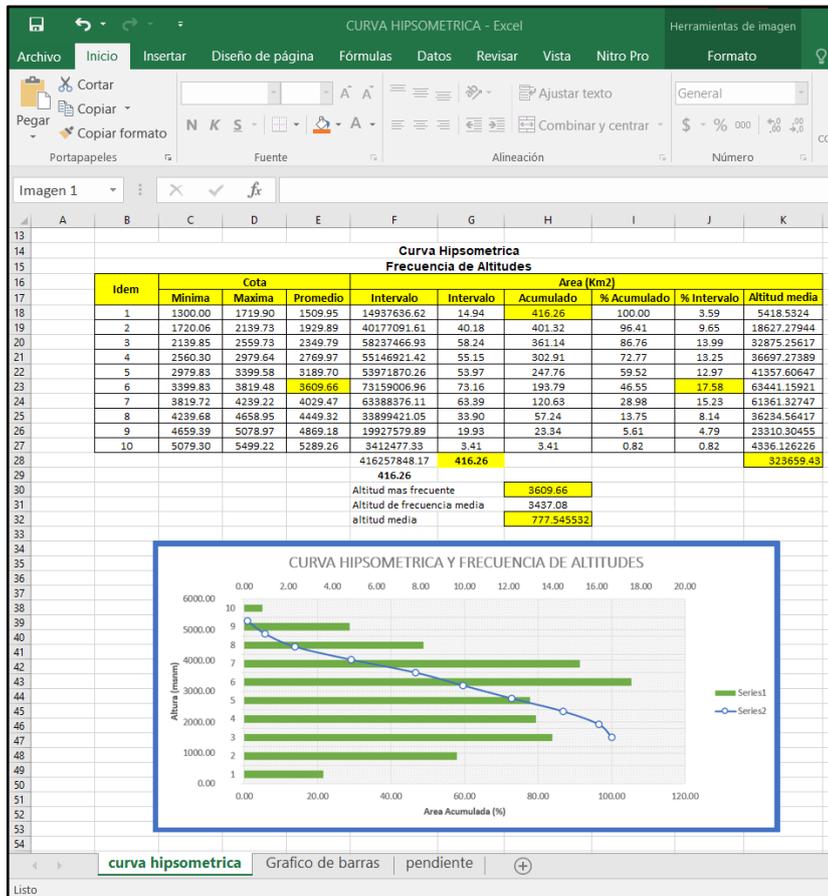
Paso 3 y 4:



Paso 5:



Paso 6:



Paso 7:

The screenshot shows an Excel spreadsheet with the following table content:

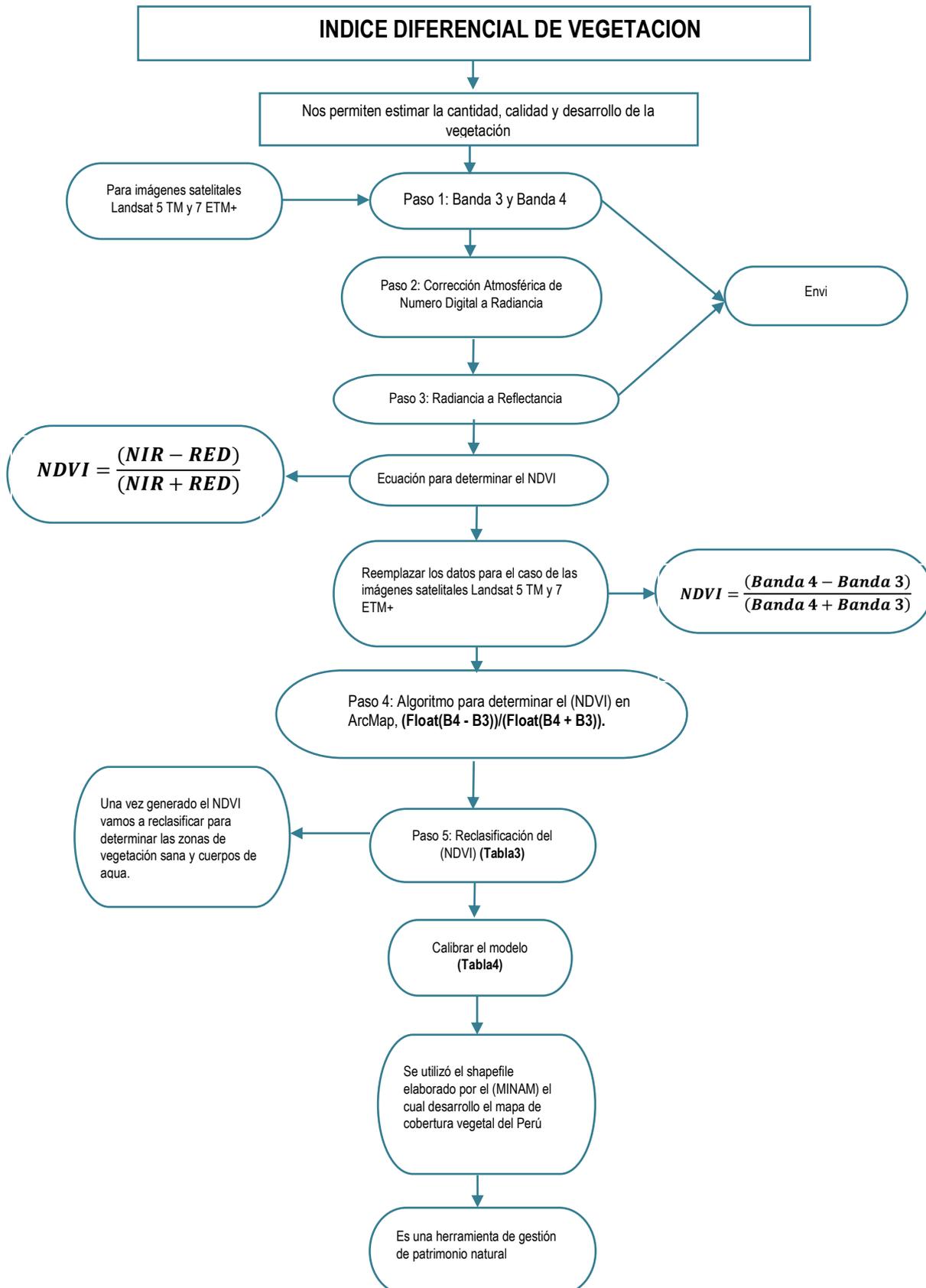
Descripción	Unidad	Valor
De la superficie		
Area	Km2	416.440
Perimetro	Km	158.802
Cotas		
Máxima	msnm	5499.22
Mínima	msnm	1300.00
Centroide		
X centroide	Km	793.29
Y centroide	Km	16088.32
Altitud		
Altitud media	msnm	3609.66
Altitud más frecuente	msnm	3437.08
Altitud de frecuencia media	msnm	777.55
Pendiente		
Pendiente promedio de la cuenca	%	32
Red Hídrica		
Longitud del curso principal	Km	48512.70
Orden de la red hídrica	UND	4
Longitud de la red hídrica	m	236.15
Pendiente promedio de la red hídrica	%	2.32
Parámetros Generados		
Tiempo de concentración	horas	9861.85
Pendiente del cauce principal	m/Km	0.09

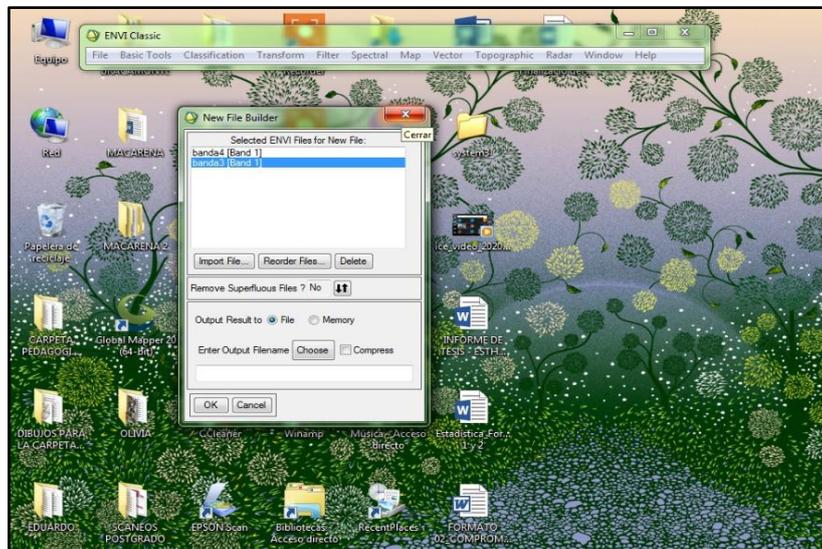
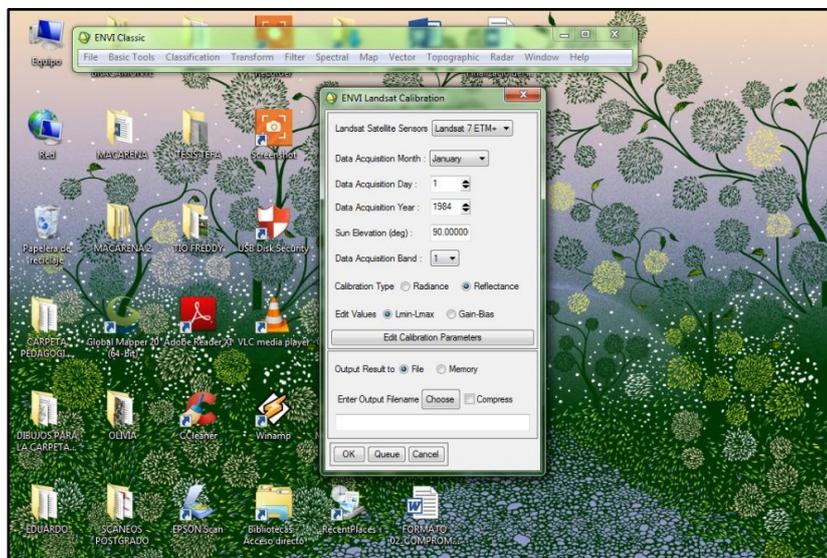
Paso 8:

The screenshot shows an Excel spreadsheet with the following table content:

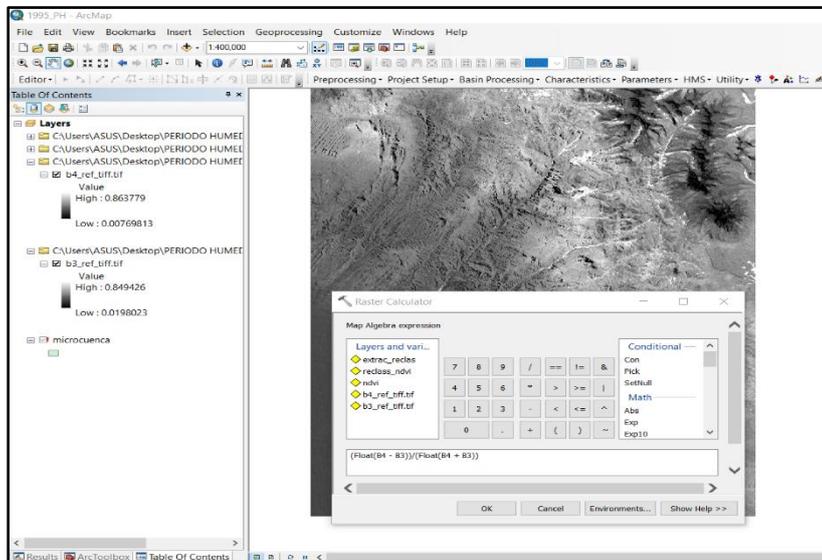
Rowid	GRID_CODE	COUNT	AREA	MIN	MAX	RANGE	MEAN	STD	SUM	VARIETY	MAJORITY	MINORITY	MEDIAN
1	1	1064	17126773	1	7	6	2.358083	0.934193	2509	7	2	7	2
2	2	526	8466806.97	1	9	8	2.43346	1.217092	1280	9	2	9	2
3	3	58	932602.289	1	5	4	2.448276	1.116837	142	5	2	4	2
4	4	223	3589539.84	1	5	4	1.878924	0.922394	419	5	1	5	2
		COUNT	MEAN										
Orden de la red hídrica	Número de veces (1)	Pendiente promedio (%) (2)	(1)*(2)										
1	1064	2.36	2509.00										
2	526	2.43	1280.00										
3	58	2.45	142.00										
4	223	1.88	419.00										
Total		1871	9.12	4350.00									
Pendiente promedio =			2	%									

ANEXO N°4

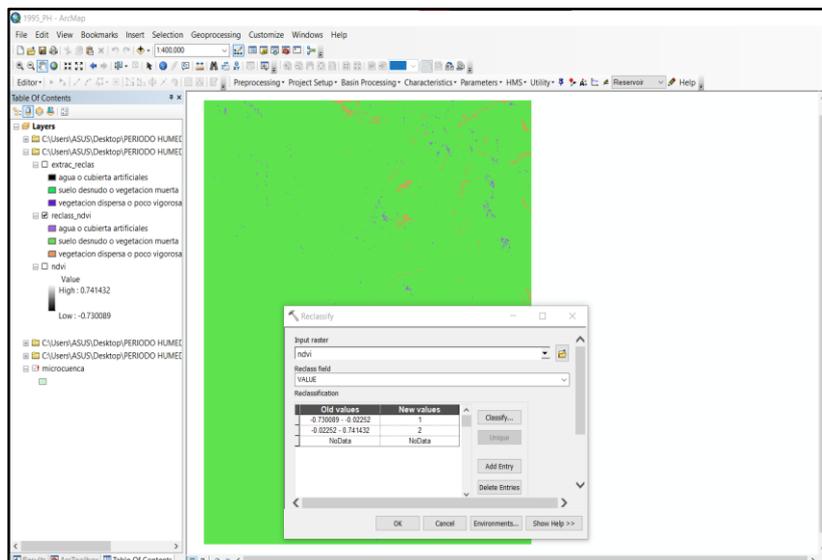


Paso 1:**Paso 3:**

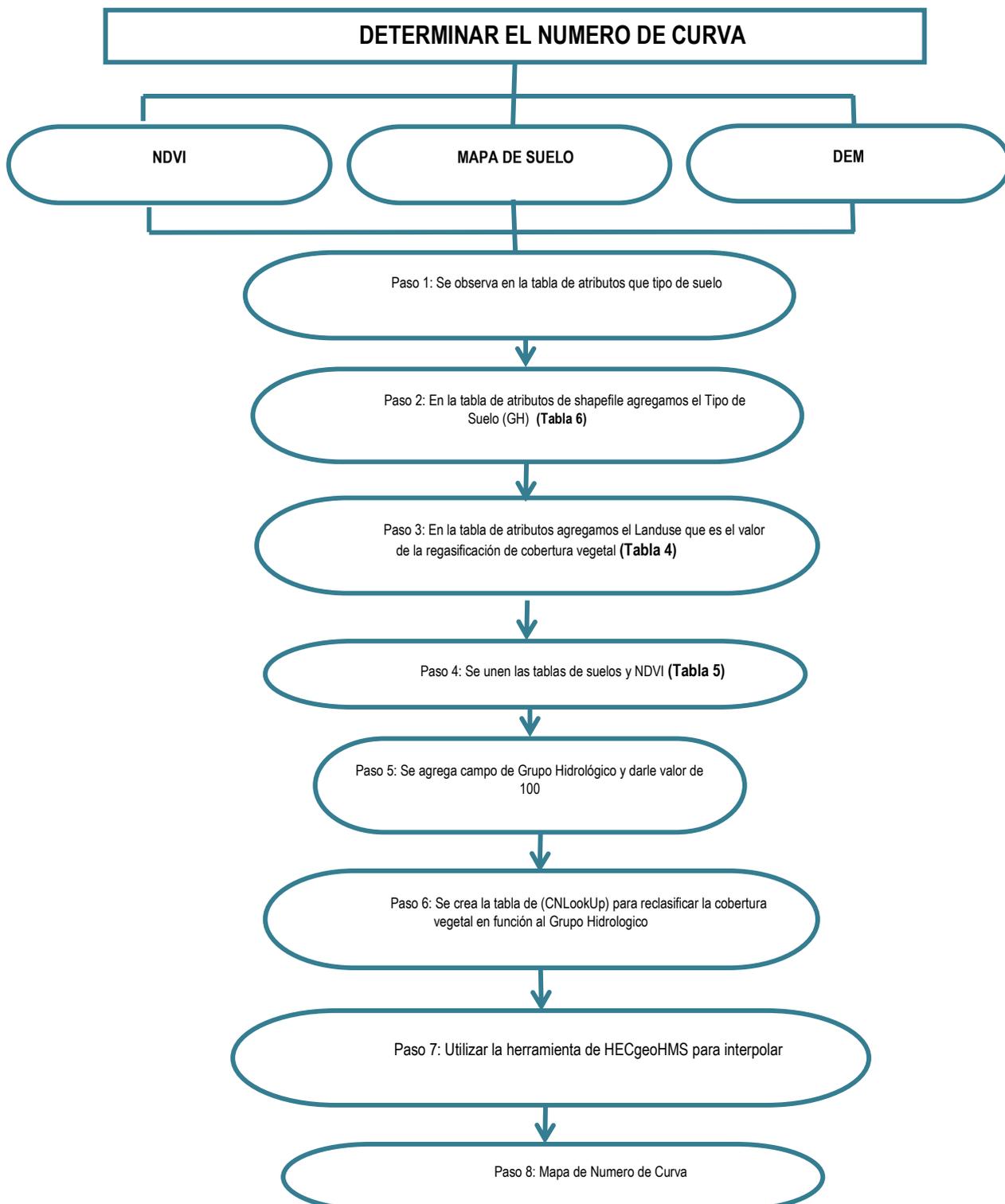
Paso 4:



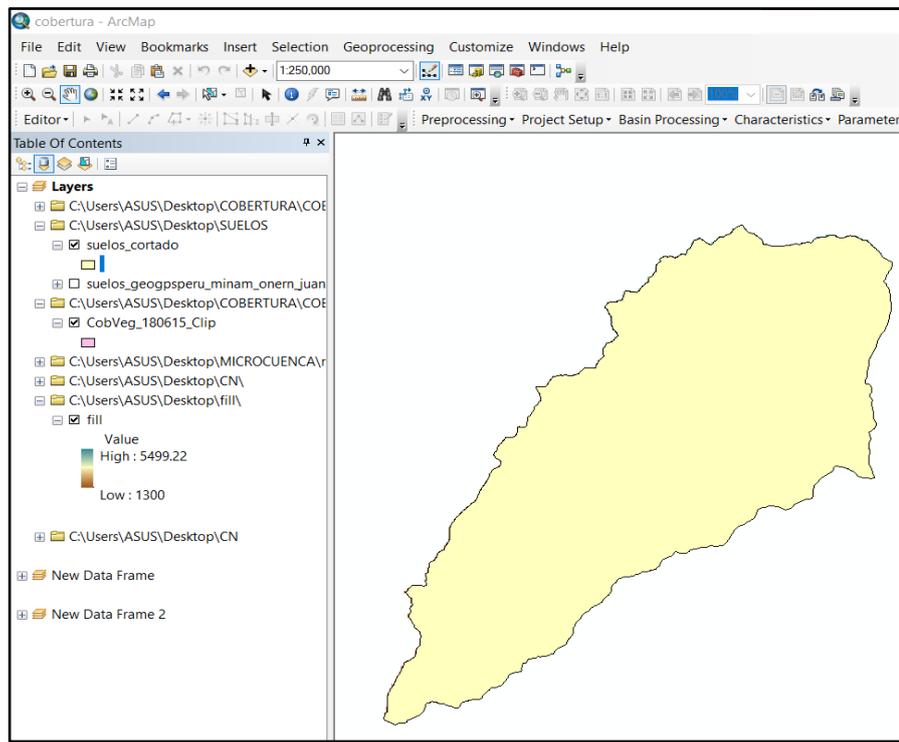
Paso 5:



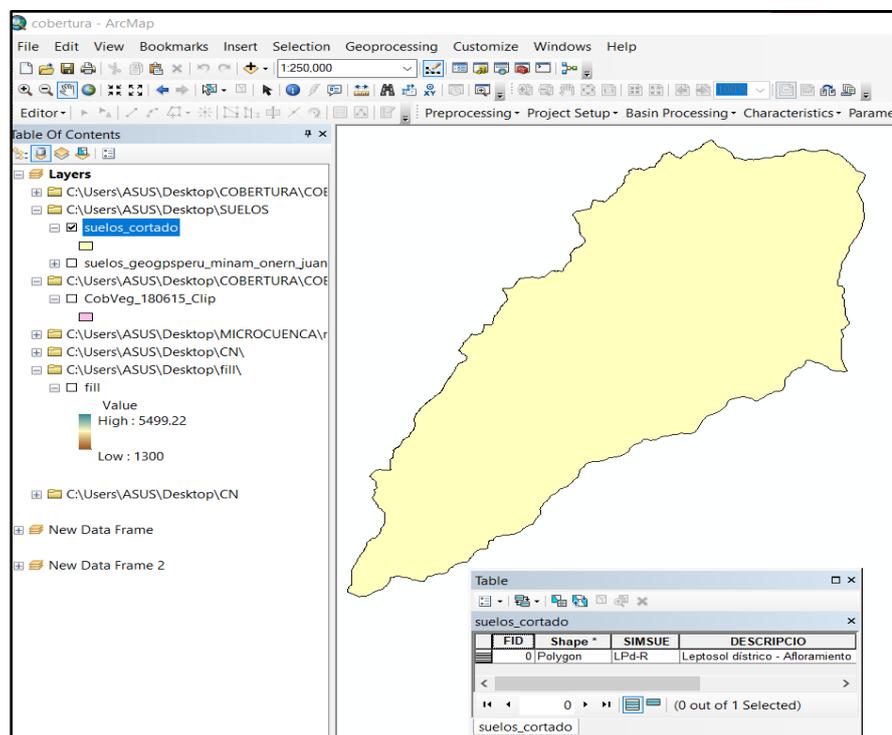
ANEXOS N° 5



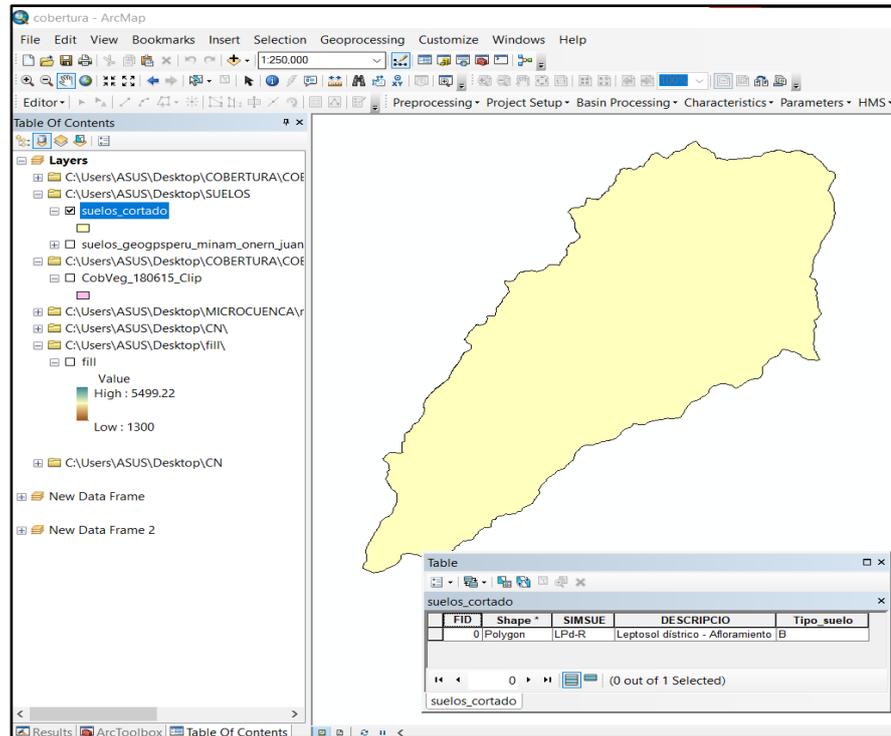
Paso 1:



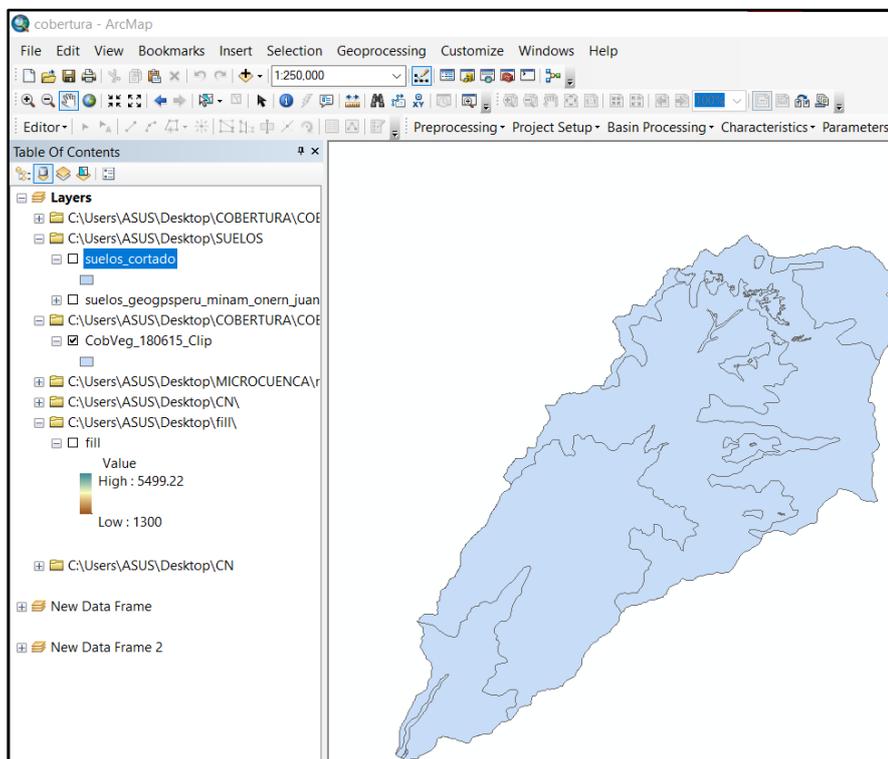
Paso 2:



Paso 3:



Paso 4:



Table

CobVeg_180615_Clip

FID	Shape *	CobVeg2013	Landuse
0	Polygon	Agricultura costera y andina	4
1	Polygon	Agricultura costera y andina	4
2	Polygon	Agricultura costera y andina	4
3	Polygon	Agricultura costera y andina	4
4	Polygon	Agricultura costera y andina	4
5	Polygon	Area urbana	3
6	Polygon	Area urbana	3
7	Polygon	Area urbana	3
8	Polygon	Area urbana	3
9	Polygon	Area urbana	3
10	Polygon	Area urbana	3
11	Polygon	Area altoandina con escasa y sin vegetación	4
12	Polygon	Bosque relicto altoandino	4
13	Polygon	Bosque relicto altoandino	4
14	Polygon	Bosque relicto altoandino	4
15	Polygon	Bosque relicto altoandino	4
16	Polygon	Bosque relicto altoandino	4
17	Polygon	Bosque relicto altoandino	4
18	Polygon	Bosque relicto altoandino	4
19	Polygon	Cardonal	4
20	Polygon	Matorral arbustivo	5
21	Polygon	Pajonal andino	4
22	Polygon	Desierto costero	13

7 (1 out of 23 Selected)

CobVeg_180615_Clip

Paso 5:

cobertura - ArcMap

File Edit View Bookmarks Insert Selection Geoprocessing Customize Windows Help

1:250,000

Editor

Preprocessing • Project Setup • Basin Processing • Characteristics • Parameters • HMS • Utility • Reservoir • Help

Table of Contents

- Layers
 - C:\Users\ASUS\Desktop\COBERTURA\COE
 - CN_POLY
 - C:\Users\ASUS\Desktop\SUELOS
 - suelos_cortado
 - suelos_geogpsperu_minam_onem_juan
 - C:\Users\ASUS\Desktop\COBERTURA\COE
 - CobVeg_180615_Clip
 - C:\Users\ASUS\Desktop\MICROCUENCAS
 - C:\Users\ASUS\Desktop\CN
 - C:\Users\ASUS\Desktop\fill
 - Value
 - High : 5499.22
 - Low : 1300
 - C:\Users\ASUS\Desktop\CN
 - CNLookup
 - New Data Frame
 - New Data Frame 2

Table

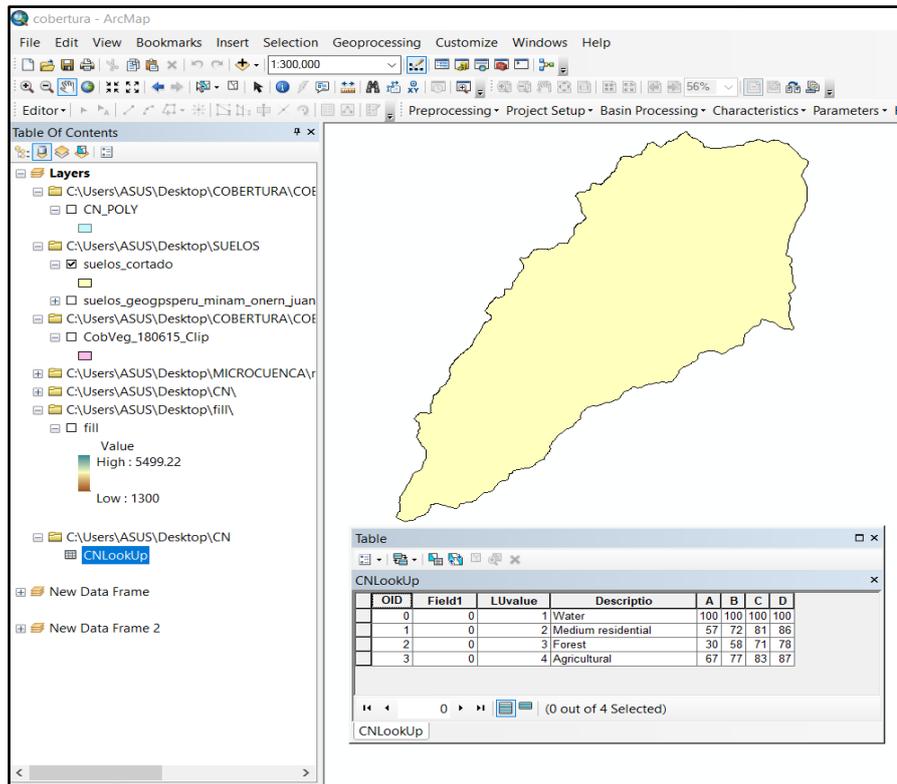
CN_POLY

FID	Shape	SIMSUE	DESCRIPCIO	CobVeg2013	Landuse	Tipo suelo	SoilCode	Pcta	Pctb	Pctc	Pctd	CN
0	Polygon	LPdR	Leptosol distrito - Aforamiento ilico	Agricultura costera y andina	4	B	B	0	100	0	0	77
1	Polygon	LPdR	Leptosol distrito - Aforamiento ilico	Agricultura costera y andina	4	B	B	0	100	0	0	77
2	Polygon	LPdR	Leptosol distrito - Aforamiento ilico	Agricultura costera y andina	4	B	B	0	100	0	0	77
3	Polygon	LPdR	Leptosol distrito - Aforamiento ilico	Agricultura costera y andina	4	B	B	0	100	0	0	77
4	Polygon	LPdR	Leptosol distrito - Aforamiento ilico	Agricultura costera y andina	4	B	B	0	100	0	0	77
5	Polygon	LPdR	Leptosol distrito - Aforamiento ilico	Area urbana	3	B	B	0	100	0	0	58
6	Polygon	LPdR	Leptosol distrito - Aforamiento ilico	Area urbana	3	B	B	0	100	0	0	58
7	Polygon	LPdR	Leptosol distrito - Aforamiento ilico	Area urbana	3	B	B	0	100	0	0	58
8	Polygon	LPdR	Leptosol distrito - Aforamiento ilico	Area urbana	3	B	B	0	100	0	0	58
9	Polygon	LPdR	Leptosol distrito - Aforamiento ilico	Area urbana	3	B	B	0	100	0	0	58
10	Polygon	LPdR	Leptosol distrito - Aforamiento ilico	Area urbana	3	B	B	0	100	0	0	58

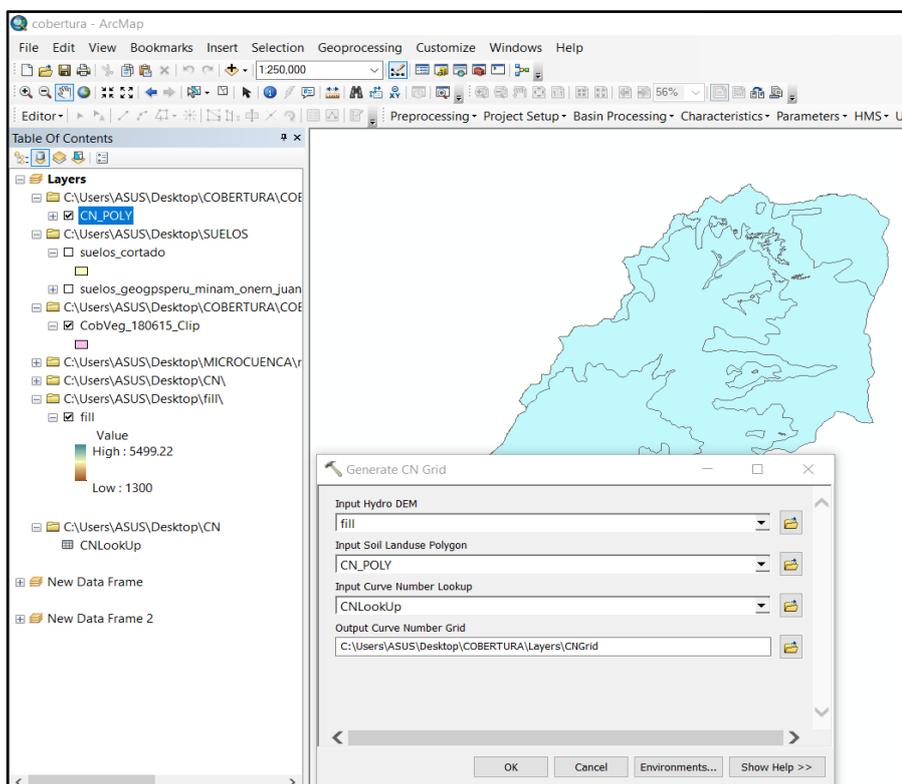
1 (0 out of 23 Selected)

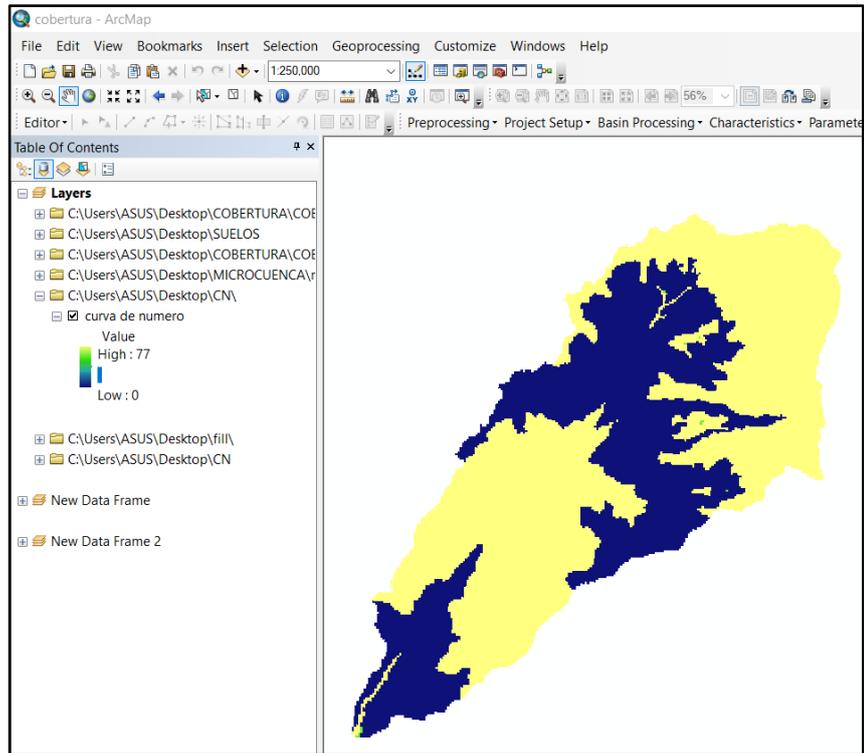
CN_POLY

Paso 6:



Paso 7:



Paso 8:

ANEXO N° 6**Fotografía N°1. Sistematización de la información contextual****Fotografía N°2. Procesamiento de información**

MATRIZ DE CONSISTENCIA

"GENERACIÓN DE ALGORITMO PARA DETERMINACIÓN DE LA CURVA NÚMERO EN LA MICROCUENCA CAPLINA - TACNA, HACIENDO USO DE SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICO"						
Título						
Problema General	Objetivo General	Hipótesis General	Dimensión	Variables	Indicador	Metodología
¿Es posible determinar el Número de Curva en la Microcuenca Cuenca Caplina – Tacna, haciendo uso de un sistema de información geográfico?	Generar un algoritmo para determinar la Curva Número en la Cuenca Caplina Tacna, haciendo uso de Sistema de Información Geográfico.	H0: Es posible generar un algoritmo para determinar el CN en la Cuenca Caplina - Tacna	Población Cuenca Caplina	Dependiente Número de Curva	Valor para tipo de suelo y clasificación hidrológica	El tipo de la investigación es descriptiva
Problemas Específicos	Objetivos Específicos	Hipótesis Específicas	Muestra	Independiente		Las actividades las hemos dividido en tres fases:
¿Cómo obtener las propiedades físicas de la microcuenca Caplina?	Determinar los parámetros geomorfológicos de la microcuenca Caplina - Tacna	H1: Se podrá determinar las propiedades físicas de la microcuenca Caplina	Corresponde a las subcuencas ubicadas en la Microcuenca del río Caplina.	- Cobertura Vegetal - Suelos - Parámetros físicos de la microcuenca	-NDVI -Tipo de suelos -Área, perímetro, red hídrica, etc.	1. Fase preliminar. 2. Fase de procesamiento de información 2.1. Descarga de información. 2.2. Preprocesamiento de información. 2.3. Parámetros geomorfológicos de la cuenca. 2.4. NDVI 2.5. CN
¿Será posible relacionar la cobertura vegetal y uso de suelo con el CN?	Determinar la relación entre la cobertura vegetal y uso de suelo con el Número de Curva	H2: Existen una relación entre la cobertura vegetal, uso de suelo y la Curva Número				
¿Tendrá alguna relación las zonas de peligro con el CN?	Elaborar mapa temático de CN en la Cuenca Caplina - Tacna, e indicar posibles zonas de riesgo ambiental.	H3: No existen una relación entre las zonas de peligro y el Número Curva				